

А. М. Пилтакян

Радиолюбительские приборы и измерения

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1131

А. М. Пилтакян

Радиолюбительские приборы и измерения



Москва
«Радио и связь» 1989

ББК 32.968.9
П 32
УДК 621.317.7

Рецензент И. Ф. ПЕСЬЯЦКИЙ

Пилтакян А. М.

П 32 Радиолюбительские приборы и измерения. — М.: Радио и связь, 1989. — 96 с.: ил. — (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1131).

ISBN 5-256-00205-8.

Описываются простейшие конструкции осциллографа, генераторов сигнала и других устройств, предназначенные для самостоятельной сборки. Приводится порядок проверки типовых радиосхем и бытовой радиоаппаратуры с помощью самодельных приборов. Даются краткие сведения по радио- и электротехнике с простейшими расчетами.

Для широкого круга радиолюбителей.

П $\frac{2302020200-009}{046(01)-89}$ 82-89 ББК 32.968.9

Научно-популярное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1131

ПИЛТАКЯН АРТУР МЕСРОПОВИЧ

РАДИОЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ПРИБОРЫ И ИЗМЕРЕНИЯ

Руководитель группы МРБ И. Н. Суслова
Научный редактор В. В. Дроздов
Редактор издательства Т. В. Жукова
Художественный редактор Н. С. Шеин
Технический редактор З. Н. Ратникова
Корректор А. К. Акименкова

ИБ № 1515

Подписано в печать с оригинал-макета 16.12.88. Т-21861. Формат 60Х90/16. Бумага кн.-журн. Гарнитура „Литературная". Печать высокая. Усл. печ. л. 6,0. Усл. кр.-отт. 6,38. Уч.-изд. л. 8,58. Тираж 200000 экз. (2-й завод: 100001—200000 экз. изд-во „Прейскурантиздат") Изд. № 21767/2709. Зак. № 1655. Цена 65 к.
Издательство „Радио и связь". 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Типография Прейскурантиздата. 125438 Москва, Пакгаузное шоссе, 1

ISBN 5-256-00205-8

Предисловие

Стремительно развивается радиоэлектроника! Опираясь на последние достижения в этой области, развиваются смежные отрасли промышленности, создаются новые направления в науке и технике. Микроминиатюризация, использование опто- и акустоэлектронных устройств, цифровое, кабельное телевидение...

Но все же еще находятся в эксплуатации «старые» ламповые, лампово-полупроводниковые телевизоры, магнитофоны, радиоприемники, имеющиеся у населения. Тем, кто отдаленно знаком с радиоэлектроникой, но хотел бы углубить свои знания, получить практические навыки для проверки, ремонта или просто экспериментировать с подобными радиоустройствами, а впоследствии — с более современной бытовой радиоэлектронной аппаратурой, и адресуется эта книга.

Задача книги — помочь начинающим радиолюбителям освоить «азы» техники измерения в бытовых радиоустройствах, научиться ремонтировать и налаживать а со временем — конструировать различную радиоаппаратуру. Для этого автор рекомендует радиолюбителям сначала изготовить по описанию в книге комплект измерительных приборов, в который входят осциллограф, генераторы звуковой и высокой частоты, генератор импульсов и мост для измерения сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов. Уже сам процесс создания «своего» осциллографа, «своих» приборов даст возможность радиолюбителю ближе познакомиться с радиоэлектроникой, более свободно разбираться в радиосхемах и происходящих в них процессах. Эти приборы отличаются предельной простотой. Например, наиболее сложный из них — осциллограф — собран по схеме с одной радиолампой, генераторы звуковой и высокой частоты выполнены на одном транзисторе каждый, в генераторе импульсов используются два транзистора, а в мосте для измерения — несколько резисторов и конденсаторов. Тем не менее с помощью перечисленных устройств можно производить большинство необходимых в практике радиолюбителя измерений.

Использование в осциллографе радиолампы вместо полупроводниковых приборов объясняется тем, что в этом случае значительно упрощаются не только схема и конструкция прибора, но и его налаживание, которое может и не потребоваться, если применены заведомо исправные детали и правильно выполнен монтаж. К тому же, по мнению автора, усвоение тех или иных понятий в радиоэлектронике легче достигается на примере ламповых конструкций. В приборах используются имеющиеся в широкой продаже недефицитные детали, разработанные 5—10 лет назад и отличающиеся большими размерами, что не могло не отразиться на массо-габаритных показателях наиболее материалоемкого прибора — осиллографа. Однако при наличии более современных габаритных деталей радиолюбитель, естественно, может изменить по своему усмотрению конструкцию, а следовательно, и размеры осциллографа.

Изготовляя приборы, радиолюбитель может, пользуясь приводимыми в книге рекомендациями и типовыми устройствами, проводить измерения на изготовленных им макетах — выпрямителях, одиночных каскадах усиления напряжения звуковой частоты, мощности и т. п.

Собрав на куске картона макет устройства, радиолюбитель сможет проверить, как изменятся его параметры при изменении номиналов деталей, и сделать соответствующие выводы. Для питания макетов используются источники напряжения постоянного тока 10 и 300 В и переменного тока 6,3 В, получаемые от осциллографа, который в данном случае является и блоком питания экспериментальных устройств. Порядок измерений в более сложной радиоаппаратуре иллюстрируется структурными схемами, приведенными в книге.

В книге описан также ряд простых дополнительных узлов, расширяющих возможности осциллографа и пополняющих лабораторию радиолюбителя.

В своей практике радиолюбителю нередко приходится проводить простые расчеты. С учетом этого в заключительной части приведены некоторые сведения справочного характера, расчетные формулы.

Материал в книге излагается в кратком виде, процессы в схемах описываются без приведения каких-либо громоздких формул, поскольку учитывается, что для более глубокой проработки возникающих вопросов читателю неизбежно придется обращаться к специальной литературе.

Глава 1

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И РАДИОТЕХНИКИ

Любое радиоэлектронное устройство — от карманного радиоприемника до сложнейшего радиотехнического комплекса — собирается из электронных приборов, резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности и т. п. Поэтому знакомство с радиоэлектроникой начинаем с этих радиодеталей, с особенностей их работы и использования. Применение радиоэлементов в электрических цепях, в свою очередь, требует определенных знаний из электро- и радиотехники. Здесь приводятся сведения, необходимые для начинающих радиолюбителей, приступающих к практическим работам в области радиоэлектроники, в первую очередь в части, касающейся бытовой радиоаппаратуры.

Переменный ток. Заряженная аккумуляторная батарея, извлеченная из автомобиля, имеет напряжение около 12 В. Это напряжение на клеммах батареи постоянно в течение длительного времени и может уменьшаться лишь из-за саморазрядки батареи. Если изобразить в виде графика зависимость напряжения батареи от времени (рис. 1), отложив по вертикальной оси значение напряжения (12 В), а по горизонтальной — время в подходящих единицах (секунды, часы), то получится непрерывная линия, параллельная горизонтальной оси.

У нас дома в электрической сети действует напряжение переменного тока, который «течет» по проводам какое-то время в одном направлении и такое же время — в обратном. Причем этот процесс происходит не скачками, а по синусоидальному закону и с определенной частотой (см. рис. 1).

Частотой переменного тока называется число полных колебаний этого тока, совершаемых за 1 с. Единица измерения частоты — герц (Гц); 1 Гц — это одно колебание в секунду. Время одного полного колебания называется периодом. Если говорят, что частота переменного тока в сети составляет 50 Гц, то это означает, что 50 раз в секунду его значение изменяется от максимума до минимума и обратно. Один период колебания продолжается 1/50=0,02 с, или 20 мс. На рис. 1 показан один период напряжения переменного тока частотой 50 Гц. Напряжение, начинаясь с нуля, достигает через 5 мс наибольшего положительного значения, затем еще через 5 мс спадает до нуля, еще через 5 мс принимает наибольшее отрицательное значение и, наконец, еще через 5 или 20 мс после начала вновь обращается в нуль. Из рисунка, однако, не ясно, какое конкретно напряжение имеется в сети. Если измерить его в момент t_1, то получим значение U_1, имевшееся в сети именно в этот момент. Это случайное значение называется мгновенным значением напряжения. Если измерение производить в момент $t=5$ мс, то получим максимальное положительное значение напряжения. В момент $t=15$ мс будет наибольшее отрицательное значение на-

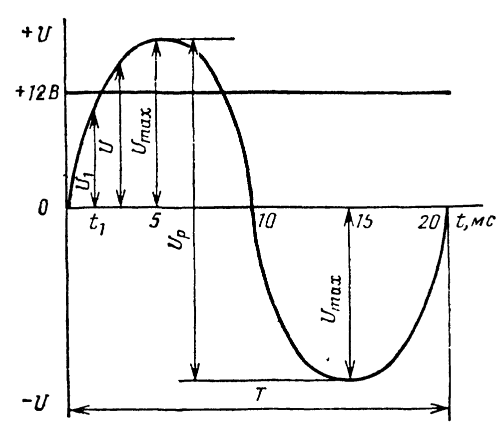


Рис. 1. Электрическое напряжение

пряжения. Чтобы определить, какое все же напряжение в электрической сети, исходят из следующего.

Имеются различные потребители электрической энергии: электроплитка, осветительные лампы и пр. Электрический ток, переменный или постоянный, накаливая электроплитку, производит определенную работу. Если производимая работа получается одинаковой при обоих видах тока (например, нагрев плитки до 500 °С), то значение напряжения переменного тока считается равным значению напряжения постоянного тока и называется действующим значением напряжения. Таким образом, когда говорят, что в сети 220 В, то имеется в виду действующее значение напряжения переменного тока. Действующее значение напряжения переменного тока U меньше его максимального значения U_{max}. Чтобы иметь в сети действующее напряжение 220 В, максимальное значение должно превышать его в 1,41 раза, т. е. $U_{max}=1{,}41U$. Если известно максимальное (амплитудное) значение напряжения, то действующее значение определяется как $U=0{,}71U_{max}$.

Представим себе две металлические пластины А и Б, установленные на определенном расстоянии друг от друга. Между пластинами на тонкой нитке висит шарик, скатанный из папиросной бумаги, на который наведен отрицательный заряд (например, трением о шерсть). К пластинам приложено напряжение, медленно изменяющееся по синусоидальному закону. Каждая из пластин попеременно будет находиться то под положительным, то под отрицательным потенциалом. Шарик придет в движение: заряженный отрицательно, он начнет качаться подобно маятнику, каждый раз стремясь оттолкнуться от отрицательно заряженной и приблизиться к положительно заряженной пластине. В данном случае шарик качается под воздействием электрического напряжения с удвоенной амплитудой, называемого напряжением размаха U_p. Итак, можно заключить, что в электрической сети и на выходе любого источника синусоидального напряжения имеются как бы три значения напряжения: действующее, максимальное (амплитудное) и напряжение размаха. Эти напряжения связаны простыми соотношениями: $U=0{,}71U_{max}$; $U_{max}=1{,}41U$; $U_p=2{,}82U=2U_{max}$.

На всех потребителях электроэнергии (нагревательных приборах, осветительных лампах и пр.) в качестве рабочего напряжения указывается действующее значение переменного напряжения. Это обстоятельство следует учитывать при разработке, сборке и налаживании радиоаппаратуры. К примеру, если конденсатор с указанным на корпусе рабочим напряжением 220 В подключить к сети с действующим напряжением, также равным 220 В, то он, возможно, будет пробит, поскольку максимальное напряжение в сети превышает 300 В!

Измерение напряжений, о которых говорилось ранее, осуществляется различными способами. В любительской практике их наиболее удобно измерять с

помощью осциллографа, наблюдая на экране форму переменного напряжения со всеми его характерными составляющими.

Часто радиолюбителям приходится иметь дело с импульсным напряжением, которое также измеряется с помощью осциллографа.

Диапазоны радио- и звуковых частот. Диапазон радиочастот, используемых для бытовых радиоэлектронных устройств, простирается от 100 кГц до 3000 МГц. На этих частотах осуществляются передача и прием радиовещательных и телевизионных программ. Диапазон звуковых частот, воспроизводимых высококачественными усилительными комплексами, составляет 25 Гц ... 20 кГц и выше.

Радиоволны, электрические колебания, модуляция, преобразование частоты. Радиоволны — это переменные электромагнитные поля, распространяющиеся в пространстве. Источники радиоволн разнообразны. Например, при коротком замыкании двух проводов с током возникает искра, которая, вспыхнув, испускает радиоволны. Электрическая дуга при сварке является источником радиоволн.

В радиоэлектронных устройствах для создания радиоволн и последующей передачи с их помощью той или иной информации широко используются колебательные контуры. Простейший колебательный контур состоит из катушки L с определенным числом витков и конденсатора C (рис. 2,*а*). Если конденсатор подключить к батарее GB и, после того как он зарядится, замкнуть его выводы отрезком провода, мы услышим звук искрового разряда — конденсатор практически мгновенно разрядится. Если заряженный конденсатор присоединить к катушке, то его разрядка через витки катушки произойдет не мгновенно. Катушка обладает известным качеством — индуктивностью. Индуктивность равнозначна инерции. Присоединенный к катушке конденсатор из-за инерции катушки сравнительно медленно отдает свою электрическую энергию катушке, в которой накапливается магнитная энергия. Инерция позволяет катушке накапливать получаемую энергию в течение определенного времени и возвращать ее конденсатору, как только он разрядится. Так в контуре LC возникают колебания электромагнитной энергии — электрические колебания. В нашем случае

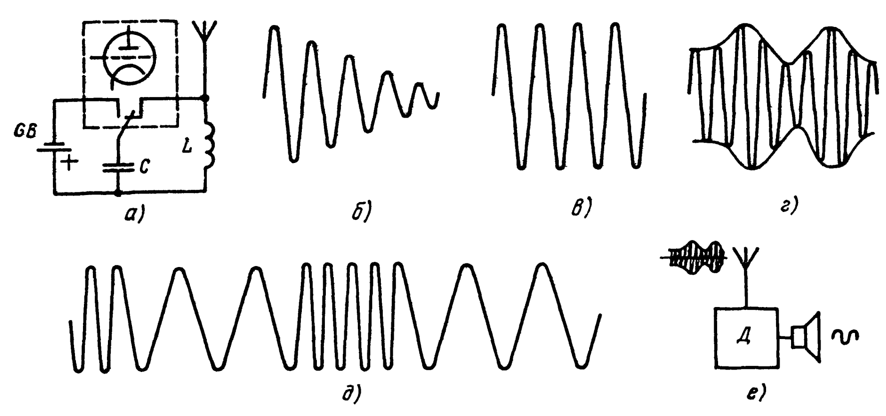


Рис. 2. Электрические колебания:

а — колебательный контур; *б* — затухающие колебания; *в* — незатухающие колебания; *г* — амплитудно-модулированные колебания; *д* — частотно-модулированные колебания; *е* — выделение звуковых колебаний

причиной, вызвавшей колебания в контуре, был первоначальный заряд, полученный конденсатором от батареи. Из-за неизбежных потерь энергии на сопротивлении провода катушки колебания в контуре, начавшись, довольно быстро прекращаются, затухают.

Такие колебания так и называются — затухающими (рис. 2,*б*).

Если конденсатор попеременно присоединять то к батарее, то к катушке, то колебания в контуре можно будет поддерживать постоянно. Такие колебания называют незатухающими (рис. 2,*в*). На практике конденсатор подключают к источнику заряда с помощью радиолампы или транзистора. Соответствующим образом составленная схема включения лампы (транзистора) в цепь контура LC позволяет создать в нем незатухающие колебания с частотой, зависящей от емкости конденсатора и индуктивности катушки. Если к контуру присоединить антенну А, то колебания начнут излучаться через антенну в окружающее пространство — возникнут радиоволны.

Ламповое устройство с антенной, в которое включен контур LC, является в нашем случае передатчиком. Конечно, лампа сама по себе не создает энергию, она черпает ее от источника напряжения (батареи, выпрямителя). Чем больше это напряжение и отдаваемый лампе ток, тем больше мощность колебаний, излучаемых антенной.

Теперь представим себе, что напряжение питания на лампу поступает через угольный микрофон, сопротивление которого, как известно, может изменяться, если перед микрофоном издается звук. Это приведет к тому, что напряжение на лампе, необходимое для ее работы и функционирования передатчика, может изменяться и принимать первоначальное значение в такт со звуками перед микрофоном, а это, в свою очередь, приведет к периодическому изменению амплитуды колебаний, излучаемых антенной, происходящему также в такт со звуком перед микрофоном. В этом случае передатчиком будут излучаться не просто незатухающие колебания, а модулированные, т. е. с изменяющейся в такт со звуком амплитудой. В данном случае колебания модулируются по амплитуде, поэтому их называют амплитудно-модулированными (рис. 2,*г*). Если амплитудно-модулированные колебания, излучаемые антенной передатчика, будут приняты антенной радиоприемника, то можно осуществить передачу и прием информации.

Представим себе другой вариант. Лампа передатчика получает от источника питания стабилизированное постоянное напряжение. При этом передатчик, как уже говорилось, излучает незатухающие колебания с частотой, зависящей от емкости конденсатора и индуктивности катушки. Допустим, что в качестве емкости контура используется конденсаторный микрофон, т. е. микрофон, выполненный в виде двух пластин, одна из которых представляет собой упругую металлическую мембрану. Если перед мембраной произносить звуки, то она, колеблясь под их воздействием, будет приближаться к другой пластине или отдаляться от нее, за счет чего будет изменяться емкость в такт со звуком. Нетрудно понять, что в соответствии с этим начнет изменяться в такт со звуком, увеличиваясь или уменьшаясь, частота колебаний передатчика. В данном случае незатухающие колебания тоже модулируются, но, в отличие от амплитудно-модулированных, они являются частотно-модулированными (рис. 2,*д*). Как и в предыдущем случае, с помощью частотной модуляции передатчика можно передавать информацию. И тот и другой вид модуляции широко используется для передачи и приема радио- и телевизионного вещания. Преиму-

щество амплитудной модуляции состоит в том, что амплитудно-модулированные колебания преобразовать в звук в приемнике значительно проще. Однако устройства с амплитудной модуляцией более чувствительны к внешним помехам. При частотной модуляции приемник усложняется, но зато устройства с этим видом модуляции обеспечивают более высококачественное воспроизведение звука из-за меньшей восприимчивости к внешним помехам.

Излучаемый антенной передатчика амплитудно- или частотно-модулированный сигнал распространяется в пространстве и достигает антенны радиоприемного устройства. После усиления модулированный сигнал поступает на так называемый детектор (Д). Назначение детектора — выделить из модулированного сигнала те самые электрические колебания звуковой частоты, которые создавались микрофоном (рис. 2,*е*). Процесс получения с помощью детектора сигналов звуковой частоты из модулированного сигнала называется детектированием. Для детектирования амплитудно-модулированного сигнала используют амплитудный детектор. Детектирование частотно-модулированного сигнала осуществляется частотным детектором.

В радиоприемниках, телевизорах и в других приемных устройствах модулированные колебания высокой частоты, поступающие из антенны, преобразуются в колебания промежуточной частоты, всегда постоянной при приеме сигналов любой частоты рабочего диапазона. Преобразование частоты в приемных устройствах дает возможность существенно улучшить такие их показатели, как чувствительность, избирательность, устойчивость работы. Преобразование частоты происходит в специальном каскаде приемника — преобразователе. Преобразование частоты осуществляется следующим образом. На вход преобразователя П (рис. 3) поступает принятый антенной сигнал с частотой $f_с$. Одновременно от вспомогательного генератора Г, называемого гетеродином, в преобразователь подается сигнал с частотой $f_г$. Частота гетеродина $f_г$ может иметь как меньшее, так и большее значение, чем частота сигнала $f_с$. Частоты отличаются друг от друга на $f_п = f_с - f_г$ или $f_г - f_с$. Сигналы двух частот $f_с$ и $f_г$ смешиваются в преобразователе. Включенный на выходе преобразователя контур L3C3 настроен на промежуточную частоту $f_п$. Таким образом, на контуре L3C3 выделяется сигнал промежуточной частоты.

Входной контур L1C1 и контур гетеродина L2C2 настриваются одновременно с помощью сдвоенного блока переменных конденсаторов C1 и C2, но собственные частоты этих контуров различаются на частоту $f_п$. Поэтому при любой перестройке контуров L1C1 и L2C2, осуществляемой для настройки на частоты радиостанций, разность между частотами контуров сохраняется неизменной; промежуточная частота, выделяемая контуром L3C3, постоянна и не зависит от настройки контуров L1C1, L2C2. Если входной сигнал $f_с$ модулирован, то сигнал промежуточной частоты также оказывается модулированным и может быть продетектирован детектором приемника. Конкретные схемы преобразователей частоты отличаются разнообразием. В них с одинаковым успехом применяются как транзисторы, так и радиолампы.

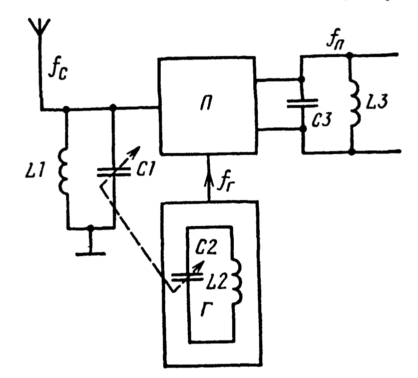


Рис. 3. Преобразование частоты

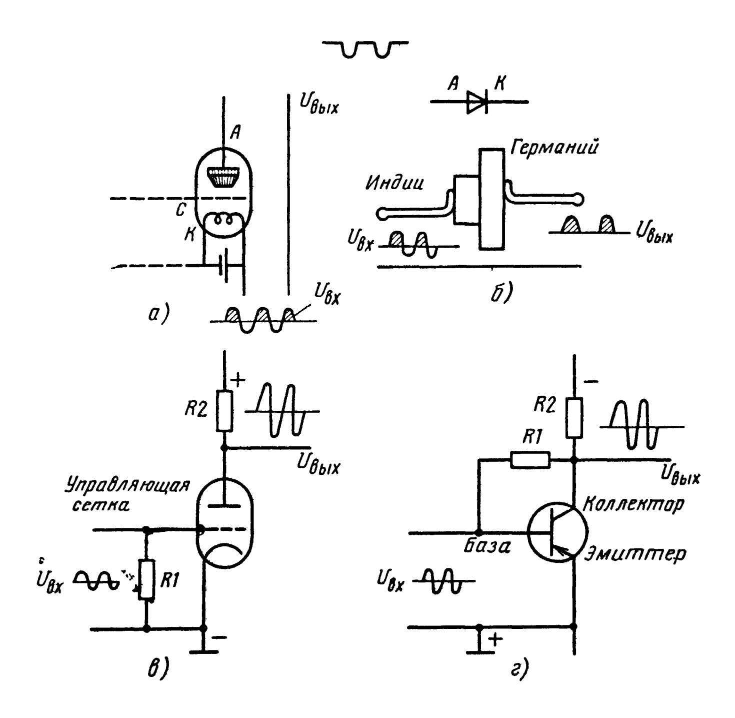


Рис. 4. Радиолампы и полупроводниковые приборы:
а — двухэлектродная лампа (диод); *б* — полупроводниковый диод; *в* — усилитель на лампе; *г* — усилитель на транзисторе

Радиолампы, полупроводниковые приборы, микросхемы. В бытовой радиоэлектронной аппаратуре используются радиолампы, полупроводниковые приборы и микросхемы. Их применяют для усиления сигналов, преобразования частоты, генерации (создания) колебаний. Наиболее простая радиолампа — диод — состоит из двух электродов — анода и катода (рис. 4,*а*). Катод К нагревается с помощью источника тока. При нагреве катода из него излучаются электроны, которые группируются в ближайшей к катоду области. Если на анод подать положительное по отношению к катоду постоянное напряжение, то электроны тотчас же устремятся к аноду, т. е. под воздействием приложенного извне напряжения в диоде возникнет ток I. Если напряжение на аноде переменное, то электроны будут двигаться к аноду только в моменты, когда он находится под потенциалом положительной полуволны напряжения. Иными словами, в этом случае через диод будет протекать прерывистый, пульсирующий ток.

Простейшее полупроводниковое устройство — диод — также имеет два вывода — катод и анод. Если к полупроводниковому диоду приложить постоянное напряжение, то от эмиттера к базе потечет ток. В случае приложения переменного напряжения этот ток будет пульсирующим.

На рис. 4,*а, б* и вакуумный (ламповый) и полупроводниковый диоды используются одинаковым образом как выпрямители: из подаваемого на вход синусоидального напряжения на выходе образуется выпрямленное напряжение.

Сопоставление лампового диода и полупроводникового, не требующего при работе ни вакуума, ни нагрева, говорит о больших преимуществах полупроводникового диода, позволивших ему почти полностью вытеснить из радиоэлектронных устройств ламповые диоды. Основное назначение полупроводниковых диодов — выпрямление переменных и импульсных напряжений, детектирование модулированных сигналов и пр.

Для усиления или генерирования электрических колебаний также преимущественно используют полупроводниковые приборы — транзисторы. Однако в бытовой радиоэлектронной аппаратуре до настоящего времени наряду с транзисторами применяют и радиолампы. Усилительная лампа — триод — отличается от диода тем, что между ее катодом и анодом установлен третий электрод — управляющая сетка, — представляющий собой металлическую сетку либо спираль, окружающую катод. Электроны, излучаемые катодом, могут свободно проходить сквозь сетку (если на ней нет напряжения) и двигаться в сторону анода, находящегося под положительным относительно катода потенциалом. Не вдаваясь в подробности, скажем, что подобно ламповому триоду работает и полупроводниковый триод — транзистор. У него также три электрода, в определенной степени аналогичных электродам лампового триода: эмиттер — катоду, база — сетке и коллектор — аноду. Лампа и транзистор, поставленные в соответствующий режим, обладают усилительными свойствами. На рис. 4,*в*, *г* показаны усилительные каскады на лампе и транзисторе. Резистор R1 нужен для устойчивой работы каскадов. Если в цепь анода лампы включить резистор с достаточно большим сопротивлением R2 и подать на анод постоянное, положительное по отношению к катоду напряжение, то через лампу потечет поток электронов. Подав на управляющую сетку отрицательное относительно катода напряжение, можно уменьшить количество электронов в потоке, т. е. уменьшить анодный ток лампы. При достаточно большом отрицательном напряжении на сетке анодный ток вообще прекратится. Отсюда можно сделать вывод, что, изменяя напряжение на управляющей сетке, можно регулировать анодный ток лампы. Поскольку сетка расположена в непосредственной близости от катода, воздействие ее на анодный ток оказывается весьма значительным. Поэтому даже небольшое изменение напряжения на сетке вызывает значительное изменение анодного тока триода.

Назовем промежуток сетка — катод входом, а анод — катод выходом каскада. Если на вход подать переменное напряжение какого-то сигнала, то анодный ток иачнет изменяться в такт с изменением переменного напряжения на сетке. Изменения анодного тока создадут на аноде лампы напряжение, изменяющееся по тому же закону, что и входное напряжение. Это напряжение будет выходным напряжением каскада. Таким образом, подав на вход напряжение сигнала, при соответствующем выборе сопротивления нагрузки мы получим на выходе каскада усиленное выходное напряжение сигнала. Усилительная способность каскада оценивается коэффициентом усиления, показывающим, во сколько раз выходное напряжение больше входного. Например, коэффициент усиления одного каскада на вакуумном триоде достигает 50...70. Транзистор в усилителе на рис. 4,*г* ведет себя так же, как вакуумный триод Хотя механизм образования токов внутри транзистора значительно отличается от действующего в лампе, внешне между каскадами на транзисторе и лампе много общего. Назовем промежуток база — эмиттер входом каскада на транзисторе, а коллектор — эмиттер — выходом. Если на вход транзистора подать

небольшое переменное напряжение, то оно вызовет изменение коллекторного тока и соответственно напряжения на выходе каскада

Между лампой и транзистором имеются, однако, существенные различия, исключающие возможность непосредственной замены лампы транзистором или наоборот Одно из главных различий состоит в сопротивлениях входа и выхода каскадов Строго говоря, эти сопротивления зависят от схемы включения лампы или транзистора Упрощенно наличие сопротивлений можно объяснить следующим образом В лампе сетку от катода отделяет вакуум, и лампа обычно работает в режиме, когда ток в цепи сетки отсутствует В этом случае входное сопротивление может составлять миллионы ом Поскольку между катодом и анодом течет ток, выходное сопротивление лампового каскада меньше, чем входное В транзисторе входное сопротивление (для схемы рис 4,*г*) не превышает 500 1000 Ом, а выходное сопротивление составляет 5 10 тыс Ом. Как сказывается то или иное сопротивление на работе каскада?

Если мы захотим собрать многокаскадный усилитель звуковой частоты на лампах и с этой целью присоединим к выходу каскада, показанного на рис 4,*в*, второй такой же, то это практически никак не отразится на показателях первого каскада его коэффициент усиления и выходное напряжение останутся почти неизменными Если с той же целью присоединить к выходу транзисторного каскада вход следующего, подобного первому, то выходное напряжение первого каскада снизится в 5 10 раз из-за малого входного сопротивления второго каскада В данном случае к относительно большому выходному сопротивлению присоединяется почти в 10 раз меньшее входное сопротивление последующего каскада Создается ситуация, сравнимая с коротким замыканием выходного сопротивления и, следовательно, выходного напряжения первого каскада По этой причине коэффициент усиления первого каскада резко снизится. Отсюда следует, что при разработке многокаскадного транзисторного усилителя необходимо учитывать, что входные и выходные сопротивления не должны сильно отличаться друг от друга В этом случае потери сигнала будут наименьшими

Все большее распространение в бытовой радиоэлектронной аппаратуре получают микросхемы, позволяющие в одной детали объемом значительно меньше кубического сантиметра совместить, например, функции многокаскадного усилителя звуковой и высокой частот, преобразователя частоты и детектора. В микросхемах достигается большая степень объединения (интеграции) активных (транзисторы) и пассивных (LCR) элементов Степень интеграции, составлявшая в первых разработках единицы и десятки, достигает в новейших микросхемах сотен и тысяч элементов в одном кристалле Микросхемы все шире используются и в радиолюбительских конструкциях

Резисторы, конденсаторы, катушки. В любом радиоэлектронном устройстве используется множество резисторов, конденсаторов, катушек Соединенные в различных сочетаниях, эти детали образуют элементарные электрические цепи с определенными свойствами Ясно, что число подобных цепей и выполняемых ими функций может быть весьма велико Чтобы лучше понять, как действуют эти цепи в реальных условиях, т е когда на них подаются напряжения постоянного и переменного тока, посмотрим, как ведет себя под напряжением каждая из этих деталей Для этого используем параметр, в равной степени характеризующий резисторы, конденсаторы, катушки, а именно сопротивление, оказываемое соответствующей деталью постоянному и переменному току.

Имеется понятие «активное» сопротивление (обычно обозначается буквой r). Под ним понимается, например, сопротивление провода, из которого намотана катушка индуктивности L, сопротивление провода высокочастотной цепи и др.

Активное сопротивление не зависит от частоты переменного тока (при не слишком высоких частотах). Поскольку последнее свойство присуще также и резисторам, то можно считать, что r и R синонимы. Сопротивление, оказываемое току конденсатором, называют емкостным сопротивлением X_C, сопротивление катушки — индуктивным сопротивлением X_L. Емкостное и индуктивное сопротивления проявляют себя на постоянном и переменном токе по-разному. Кроме того, они изменяют свои значения при изменении частоты переменного тока. Поведение конденсатора и катушки в цепях с током однозначно характеризуется соответствующими формулами (см. гл. 6). Чем больше частота напряжения, подведенного к конденсатору, и чем больше его емкость, тем меньшее сопротивление току он оказывает. Чем меньше частота тока и емкость, тем большим сопротивлением обладает конденсатор. А в том случае, когда частота равна нулю, т. е. при постоянном токе, сопротивление конденсатора бесконечно велико. Индуктивное сопротивление проявляется по-другому, катушка ведет себя прямо противоположно конденсатору: чем больше частота тока и индуктивность, тем большее сопротивление току оказывает катушка. При постоянном токе, когда частота равна нулю, катушка представляла бы нулевое сопротивление, не будь у нее активного сопротивления провода r, т. е. для постоянного тока сопротивление катушки равно r.

Рассмотрим, как используются свойства указанных деталей на практике. Уже говорилось о выпрямлении переменного тока с помощью диода. Переменный ток, проходя через диод (рис. 5), становится постоянным, т. е. током, текущим только в одном направлении. Но напряжение на выходе диода — точки 1 — не является строго постоянным: на него наложена переменная составляющая пульсаций. Такое напряжение называют пульсирующим. Если к выходу выпрямителя присоединить конденсатор C1 достаточно большой емкости, его сопротивление для пульсаций будет мало́ и выход выпрямителя для переменной составляющей окажется замкнутым. В то же время для постоянного тока конденсатор представляет собой бесконечно большое сопротивление. Это значит, что конденсатор на выходе выпрямителя ведет себя в одно и то же время по-разному. Во-первых, он ослабляет пульсации, во-вторых, повышает постоянное напряжение на выходе выпрямителя. Дело в том, что, когда диод пропускает ток, конденсатор заряжается до максимального значения переменного напряжения на входе выпрямителя.

Зарядившись до этого значения в момент включения выпрямителя, конденсатор не успеет разрядиться за время между полупериодами выпрямлен-

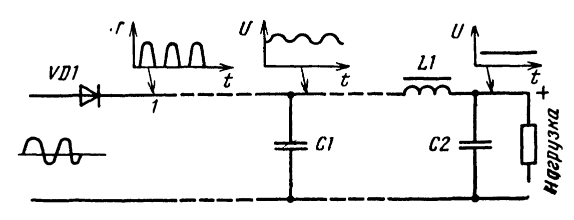


Рис. 5. Диод как выпрямитель

ного напряжения. Этому способствует его большая емкость. Небольшие пульсации, остающиеся на конденсаторе С1, можно устранить почти полностью. Для этого используется катушка индуктивности L, называемая дросселем и обладающая уже известным нам свойством оказывать сопротивление переменному току и пропускать через себя постоянный ток. Дроссель включается в цепь выхода выпрямителя последовательно. Потребляемый нагрузкой ток проходит через дроссель, причем для оставшейся на конденсаторе С1 переменной составляющей он становится преградой, без помех пропуская постоянный ток. Конденсатор С2 окончательно сглаживает пульсации, и на нагрузку поступает практически напряжение постоянного тока. Следовательно, можно заключить, что использование комбинации конденсаторов и дросселя в выпрямителе помогло преобразовать напряжение пульсирующего тока в напряжение постоянного. Остается добавить, что конденсаторы С1, С2 и дроссель L1, соединенные, как показано на рис. 5, составили так называемый сглаживающий фильтр, используемый в выпрямителях радиоустройств.

Рассмотрим теперь на примере лампового каскада (рис. 6), какие функции исполняют резисторы R и конденсаторы С в усилителе звуковой частоты и как называют эти детали в зависимости от выполняемых функций.

На рис. 6 приведена схема второго каскада многокаскадного усилителя. Для работы в заданном режиме лампа должна иметь на своих электродах различные постоянные напряжения. Для питания анодной цепи нужно, к примеру, 200 В, для экранной сетки 50 В, для управляющей сетки 5 В (о переменном напряжении накала в данном случае можно не говорить). Ясно, что для питания электродов указанными напряжениями применять отдельные источники, будь то выпрямители или батареи, неоправданно. Гораздо проще, используя напряжение от одного источника, получать необходимое напряжение с помощью резисторов и подавать на тот или иной электрод. Допустим, что напряжение для питания каскада (см. рис. 6) больше требуемого. Для его снижения используется резистор R4, на котором падает излишек напряжения. Принято называть этот резистор гасящим. Гасящим также является резистор R2 в цепи экранной сетки.

В многокаскадных усилителях гасящие резисторы, установленные в каждом каскаде, могут выполнять одновременно роль резисторов, препятствующих нежелательным связям между каскадами по цепям питания. При наличии такой связи стабильность работы каскадов нарушается, происходит самовозбуждение усилителя. Резисторы, установленные в анодных цепях, и соответствующие конденсаторы предотвращают проникновение в цепи питания колебаний, могущих вызвать самовозбуждение. В этом случае резисторы называют резисторами развязки.

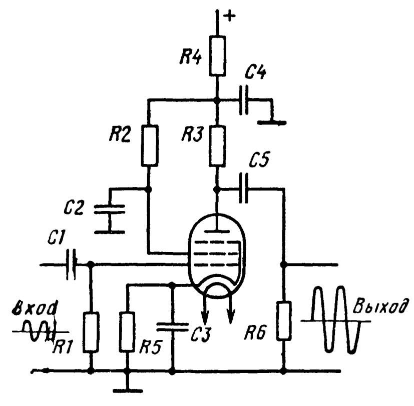


Рис. 6. Усилитель

Нагрузкой каскада является резистор R3, который так и называется — резистор нагрузки. Резистор R1 — резистор утечки сетки. Резистор R6 является резистором утечки для лампы следующего каскада.

На включенном в цепь катода резисторе R5 при прохождении анодного тока возникает падение постоянного напряжения, причем его + будет на катоде, а — на общей шине. Поскольку резистор утечки R1 соединен с общей шиной, то потенциал сетки по отношению к катоду окажется отрицательным. Так на сетке получается отрицательное напряжение, необходимое для работы каскада в требуемом режиме. Резистор R5 называют резистором смещения.

Напряжение сигнала поступает на управляющую сетку лампы через конденсатор C1. Усиленный сигнал снимается с анода и через конденсатор C5 поступает на выход каскада. Конденсатор C1 должен пропустить переменное напряжение сигнала и не допускать попадания на сетку постоянного напряжения из цепи питания предыдущего каскада. Точно так же конденсатор C5 должен пропустить напряжение сигнала к следующему каскаду и исключить попадание на его вход постоянного напряжения из анодной цепи рассматриваемого каскада. Значит, функции конденсаторов C1 и C5 — отделить переменный ток от постоянного. Поэтому конденсаторы, исполняющие подобные функции, принято называть **разделительными**.

При усилении сигнала переменный ток, протекая через лампу, создает на резисторе нагрузки усиленное напряжение сигнала. Однако этот ток должен протекать далее через гасящие резисторы R2, R4 и резистор смещения R5. Если бы это было так, то на перечисленных резисторах происходило бы падение напряжения сигнала, приводящее к ухудшению частотной характеристики и других параметров усилителя. Чтобы не допустить этого, используют конденсаторы C2 и C4, замыкающие путь сигнала мимо гасящих резисторов R2, R4, и конденсатор C3, являющийся коротким замыканием для сигнала, выделяющегося на резисторе смещения R5. Конденсаторы C2—C4 замыкают путь токам звуковой частоты, как принято говорить, блокируют соответствующие цепи и называются блокирующими.

Из приведенных примеров видно, что, используя резисторы и конденсаторы, можно направлять различные токи (постоянный, переменный, импульсный) по той или иной цепи, разделять их, преобразовывать один вид тока в другой и т. п. Рассмотрим наиболее часто используемые цепи при переменном токе.

Цепи RC. Пусть на вход RC цепи (рис. 7,*а*) подается переменное напряжение $U_{вх}$. Частота этого напряжения изменяется от нуля до весьма больших значений. По мере увеличения частоты емкостное сопротивление конденсатора X_C начинает уменьшаться, в цепи нарастает ток и на резисторе R появляется напряжение $U_{вых}$. Начавшись с нуля, оно достигает значения $U_{вх}$, когда X_C уменьшается до нуля (рис. 7,*в*, кривая 1).

Поменяем местами резистор R и конденсатор C (рис. 7,*б*). С увеличением частоты сопротивление X_C начнет уменьшаться, в цепи потечет ток, вызывая нарастающее падение напряжения на резисторе R и соответствующее уменьшение выходного напряжения. При достаточно высокой частоте сопротивление X_C и напряжение $U_{вых}$ снизятся практически до нуля (рис. 7,*в*, кривая 2). Цепи RC рассматриваемого вида могут применяться для различных целей. Например, цепь на рис. 7,*а* может быть использована в качестве фильтра, пропускающего напряжения с частотами, превышающими так называемую граничную частоту f_0 и подавляющего напряжения с частотами, меньшими граничной. Такой фильтр называют фильтром верхних частот. Цепь RC на рис. 7,б ведет себя как фильтр нижних частот, т. е. фильтр, пропускающий

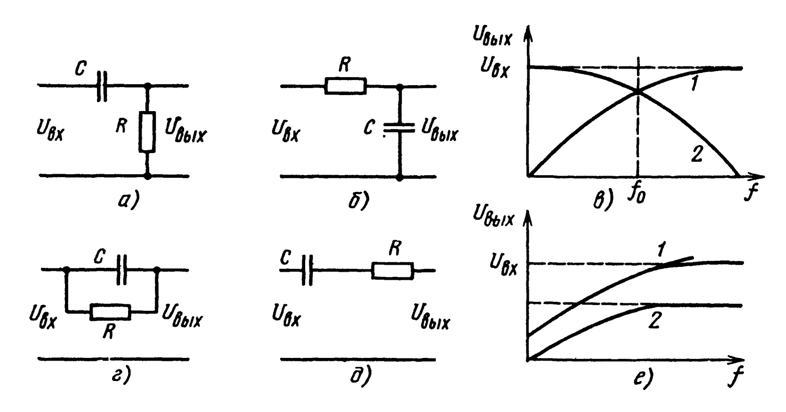


Рис. 7. Цепи RC:

а — дифференцирующая; *б* — интегрирующая; *в* — частотные характеристики дифференцирующей (1) и интегрирующей (2) цепей; *г*, *д* — последовательные RC цепи; *е* — частотные характеристики последовательных RC цепей

напряжение с частотами меньшими, чем граничная. Граничную частоту f_0 называют также частотой среза фильтра.

В зависимости от значений элементов RC цепи частота среза изменяется в ту или другую сторону.

Показанная на рис. 7,*г* цепь RC изменяет свое сопротивление от R на постоянном токе до нуля при достаточно высоких частотах, так как резистор шунтируется сопротивлением емкости, приближающимся к нулю с ростом частоты. Соответственно этому зависимость напряжения $U_{вых}$ от частоты входного напряжения $U_{вх}$ будет подобна показанной на рис. 7,*е* (кривая 1), из которой видно, что при нулевой частоте напряжение на выходе будет иметь какое-то значение. Цепь, изображенная на рис. 7,*д*, при увеличении частоты ведет себя несколько иначе. Вблизи нулевой частоты конденсатор C представляет собой бесконечное сопротивление и тока в цепи нет. При достаточно большой частоте сопротивление X_C становится близким к нулю, и тогда сопротивление цепи определяется сопротивлением резистора R. Поэтому соответствующая зависимость (рис. 7,*е*, кривая 2) начинается с нулевого значения выходного напряжения. При высоких частотах напряжение $U_{вых}$ цепи на рис. 7,*д* оказывается меньше, чем у цепи на рис. 7,*г*, поскольку часть напряжения теряется на резисторе и не достигает значения входного напряжения при любых частотах.

Цепи RC используют для подъема частотной характеристики в области низких и высоких частот, в цепях обратной связи усилителей напряжения звуковой частоты. Их применяют в качестве частотных фильтров, а для повышения эффективности работы фильтров соответствующие цепи соединяют последовательно, при этом образуются многозвенные фильтры.

Цепи LC. Пусть на вход цепи подается переменное напряжение $U_{вх}$ (рис. 8,*а*). Частота напряжения изменяется от нуля до весьма больших значений. При нулевой частоте сопротивление X_C бесконечно велико, и поэтому напряжение на выходе цепи $U_{вых}$ равно нулю. С повышением частоты уменьшается емкостное X_C и повышается индуктивное сопротивление X_L, напряжение $U_{вых}$ растет и становится приблизительно равным напряжению на входе

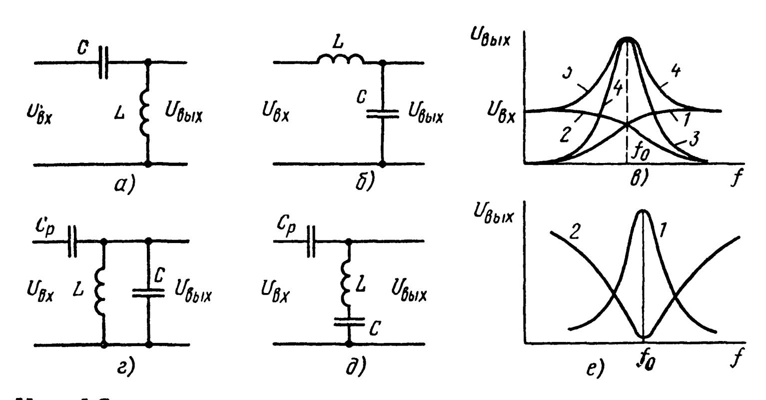


Рис. 8. Цепи LC:

а, б, г, д — LC цепи; *в, е* — частотные характеристики LC цепей

(рис. 8,*в*, кривая 1). Цепь LC (рис. 8,*б*) ведет себя иначе. При нулевой частоте $U_{вых} \approx U_{вх}$, так как X_L также равно нулю (пренебрегаем активным сопротивлением провода), а X_C имеет наибольшее значение. С ростом частоты напряжение $U_{вых}$ падает (рис. 8,*в* кривая 2). Кривые вида 1 и 2 получаются только при достаточно низких активных сопротивлениях нагрузки, подключенных к выходам цепей. Если эти сопротивления велики, то в случаях когда $X_C = X_L$, обе цепи приобретают свойства резонансных контуров, проявляющиеся в том, что на определенной, так называемой резонансной частоте f_0 выходное напряжение резко возрастает (кривые 3 и 4 для цепей рис. 8*а* и *б* соответственно), превышая входное иногда в десятки и сотни раз, в зависимости от качества используемых конденсатора и катушки индуктивности. Если, например, катушка намотана из провода с большим активным сопротивлением, то на нем произойдет потеря энергии и повышение выходного напряжения будет не столь значительным. То же случится, если в конденсаторе использован диэлектрик, вызывающий потери энергии.

Цепи, подобные изображенным на рис. 7,*а*,*б*, используются в усилителях мощности звуковой частоты в качестве разделительных фильтров для подачи соответствующих сигналов на низкочастотную, среднечастотную или высокочастотную головку акустического агрегата. Имеются и другие применения этих цепей. Цепи LC, изображенные на рис. 8,*г*,*д*, представляют собой параллельный и последовательный колебательные контуры. Входное напряжение на оба контура поступает через разделительные конденсаторы $C_р$. Будем считать, что эти конденсаторы не влияют на процессы в контурах. Рассмотрим контур на рис. 8,*г*. При нулевой частоте сопротивления $X_L = 0$, $X_C = \infty$ и напряжение $U_{вых} = 0$. С увеличением частоты входного напряжения увеличивается сопротивление X_L и одновременно уменьшается сопротивление X_C. В момент, когда $X_L = X_C$, на частоте f_0 полное сопротивление контура резко возрастает и достигает тысяч и сотен тысяч ом. Выходное напряжение цепи значительно превысит входное. Это показано на рис. 8,*е* (кривая 1). Процессы в контуре (цепи) на рис. 8,*д* происходят по-иному. При нулевой частоте сопротивления $X_L = 0$, $X_C = \infty$, поэтому выходное напряжение сравнимо с входным. Увеличение частоты входного напряжения приводит в равной степени к росту сопротивления X_L и уменьшению сопротивления X_C, выходное напряже-

ние какое-то время будет находиться примерно на одном уровне. При дальнейшем увеличении частоты емкостное и индуктивное сопротивления сравняются, и в этот момент полное сопротивление контура резко уменьшится. Это произойдет при резонансной частоте f_0. При дальнейшем повышении частоты входного напряжения выходное напряжение вновь увеличится до уровня входного.

Установив в контуры (рис. 8,*г*,*д*) вместо постоянных конденсаторов конденсатор переменной емкости, можно осуществить перестройку контуров по частоте. Одним из многочисленных применений таких контуров является использование их для отстройки от мешающих сигналов при радиоприеме. Если в разрыв антенной цепи включить параллельный контур и настроить его, изменяя емкость C, на частоту нежелательного сигнала, то этот сигнал, ослабленный в сотни раз, не сможет проникнуть на вход приемника, т. е. помеха будет надежно подавлена. Здесь цепь LC используется как фильтр-пробка. Того же эффекта можно достичь, применив перестраиваемый последовательный контур, если включить его между антенным входом и общей шиной приемного устройства. При частоте контура, равной частоте мешающего сигнала, вход приемника для него будет «закорочен».

Цепи RL (рис. 9). С увеличением частоты сопротивление X_L возрастает и выходное напряжение уменьшается со скоростью, зависящей от индуктивности катушки и сопротивления резистора, и при какой-то частоте оказывается близким к нулю (рис. 9,*в*, кривая 1). В цепи (рис. 9,*б*) под действием переменного напряжения $U_{вх}$ с изменяющейся частотой выходное напряжение увеличивается, приближаясь к уровню входного. Процесс этот объясняется тем, что при нулевой частоте сопротивление $X_L=0$ и напряжение $U_{вых}=0$. С увеличением частоты растет значение X_L и соответственно значение $U_{вых}$ (рис. 9,*в*, кривая2).

В цепи на рис. 9,*г* при нулевой частоте входного напряжения сопротивление $X_L=0$ и резистор R замкнут накоротко, входное напряжение практически без ослабления поступает на выход цепи и напряжение $U_{вых} \leqslant U_{вх}$. С увеличением частоты растет значение X_L, уменьшается напряжение $U_{вых}$. При достаточно высоких частотах, когда $X_L \approx R$, индуктивность не влияет на выходное напряжение, значение которого завнсит только от сопротивления резистора (рис. 9,*е*, кривая 1). Цепь на рис. 9,*д* имеет сопротивление, которое уве-

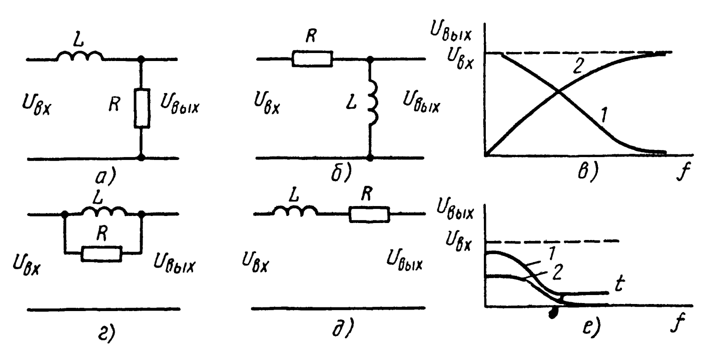


Рис. 9. Цепи RL:

а, *б* — параллельные RL цепи; *в* — частотные характеристики параллелльных RL цепей; *г*, *д* — последовательные LC цепи; *е* — частотные характеристики последовательных LC цепей

личивается с увеличением частоты входного напряжения. В начальный момент $X_L=0$ и выходное напряжение зависит только от сопротивления резистора. С увеличением частоты к сопротивлению резистора добавляется индуктивное сопротивление катушки и выходное напряжение постепенно спадает до нуля (рис. 9,*е*, кривая 2). Цеци RL используются в качестве фильтров верхних и нижних частот, они применяются в акустических системах для разделения частот и т. п.

Рассмотрим далее поведение цепей RCL под воздействием импульсного напряжения. Однако предварительно исследуем действие импульсного напряжения на цепь RC — случай, часто встречаемый в телевизионных приемниках и осциллографах. На рис. 10,*а* показано соединение резистора R, конденсатора C и источника напряжения U. В начальный момент ключ K замкиут. В цепи протекает ток через резистор. В момент t_1 (рис. 10,*б*) ключ размыкается и начинается зарядка конденсатора C через резистор R током источника питания. Время, в течение которого конденсатор зарядится от нуля до напряжения U, зависит от так называемой постоянной времени цепи RC, т. е. от произведения сопротивления резистора и емкости конденсатора. Очевидно, что чем больше емкость и сопротивление, тем большее время потребуется для зарядки

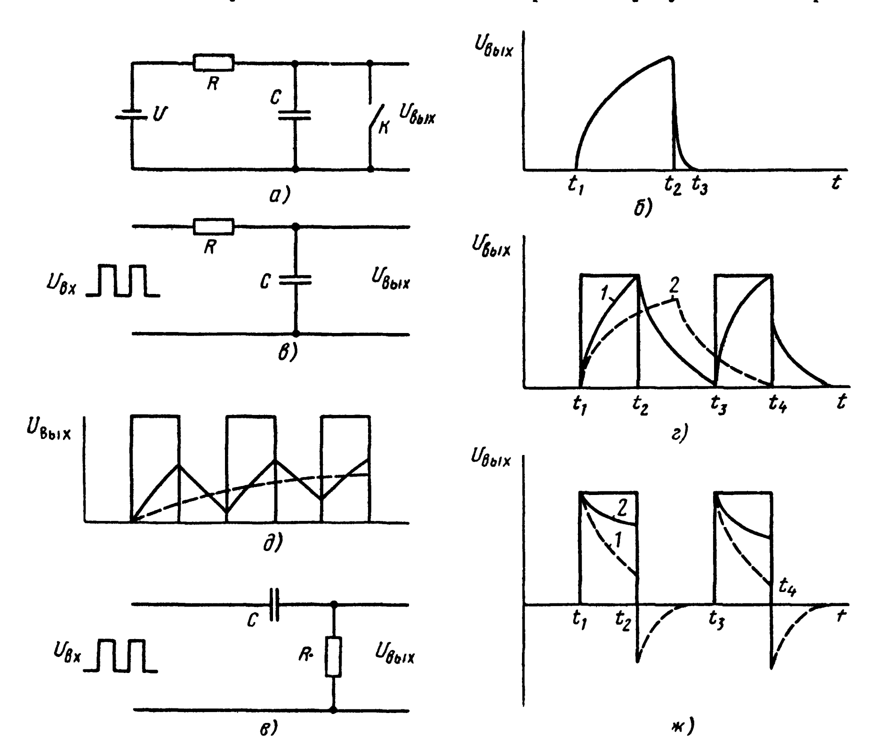


Рис. 10. Цепи RC при импульсном напряжении:

а — зарядка конденсатора от источника постоянного напряжения; *б* — изменение напряжения $U_{вых}$ во времени; *в* — действие П-импульса на RC цепь; *г* — зависимость напряжения $U_{вых}$ от длительности П-импульса для RC цепи; *д* — постоянная времени RC цепи больше t_1; *е* — действие П-импульса на RC цепь; *ж* — зависимость $U_{вых}$ от длительности П-импульса для RC цепи

конденсатора. Допустим, что сразу же после окончания зарядки вновь замкнется ключ. Произойдет быстрая разрядка конденсатора за время t_2—t_3 через близкое к нулю сопротивление ключа. Периодически замыкая и размыкая ключ, можно получить на выходе цепи импульсное напряжение. Это напряжение называется пилообразным. Ясно, что при увеличении сопротивления R и емкости С время зарядки конденсатора до наибольшего напряжения увеличится, и наоборот. Применив вместо ключа переключающее устройство на транзисторе или лампе, можно получить генератор пилообразного напряжения. Если вместо постоянного резистора R использовать переменный, то окажется возможным плавно менять частоту пилообразного напряжения. В генераторах пилообразного напряжения телевизоров используют принципы работы такой RC цепи.

Рассмотрим действие RC и RL цепей при подаче на них импульсного напряжения П-образной формы (П-импульс). Это напряжение подается на вход RC цепи (рис. 10,*в*). До момента t_1, как это видно из рис. 10,*г*, напряжение на входе цепи отсутствует. Оно появляется в момент t_1, и сразу же начинается зарядка конденсатора через резистор (кривая 1). В зависимости от емкости конденсатор может зарядиться до амплитудного значения напряжения П-импульса или не достичь этого значения, если длительность П-импульса меньше времени, необходимого для полной зарядки конденсатора. Чтобы конденсатор успевал полностью зарядиться за время действия П-импульса, необходимо, чтобы постоянная времени RC была меньше длительности П-импульса. В момент t_2 действие импульса прекращается и конденсатор разряжается через внешнюю цепь. Затем появляется новый импульс, и процесс повторяется. При большой постоянной времени цепи RC и малой длительности П-импульса конденсатор, зарядившись первым импульсом до какого-то напряжения, не сможет сколь-нибудь значительно разрядиться в промежутках между импульсами (рис. 10,*д*). Цепь начнет накапливать заряды под действием короткого П-импульса и поэтому называется накопительной или интегрирующей.

Из рис. 10,*д* видно, что напряжение на конденсаторе в процессе накопления оказывается «зазубренным». Чтобы этого не было, к цепи присоединяют вторую, иногда и третью однотипные цепи. В этом случае будет получена двухзвенная или трехзвенная интегрирующая цепь, сглаживающая неровность напряжения на выходном конденсаторе.

На рис. 10,*е* показана RC цепь, выходное напряжение которой снимается с резистора. Подадим на ее вход импульсное напряжение. В момент t_1 (рис. 10,*ж*) напряжение П-импульса распределяется между С и R таким образом, что почти все оно передается на резистор, так как в этот момент напряжение на конденсаторе равно нулю (конденсатор не может мгновенно зарядиться). Затем начинается зарядка конденсатора, напряжение на нем будет возрастать, а выходое напряжение на резисторе — падать. Если постоянная времени цепи мала, конденсатор зарядится быстро и напряжение на резисторе быстро снизится (рис. 10,*ж*, кривая 1). При большой постоянной времени цепи спадание напряжения на резисторе, т. е. выходного напряжения, произойдет медленнее (кривая 2). В момент t_2 действие П-импульса прекратится, и конденсатор начнет разряжаться через источник импульсного напряжения и резистор R. Поскольку в этом случае направление тока в цепи изменится на обратное, то напряжение на выходе цепи изменит свою полярность, как показано на рис. 10,*ж*. Таким образом, под действием входного напряжения

(П-импульса) при прохождении RC цепи выходное напряжение принимает остроконечную форму и будет иметь положительную и отрицательную полярности. Из-за способности «обострять» П-импульсы цепь на рис. 10,*е* называется дифференцирующей.

Если в RC цепях вместо конденсаторов установить катушки индуктивности, то образуются цепи LC, действующие подобно цепям RC. Однако из-за противоположных свойств конденсаторов и катушек для получения интегрирующей цепи катушка должна быть включена вместо конденсатора С (рис. 10,*в*), а для получения дифференцирующей — вместо С (рис. 10,*е*).

В заключение рассмотрим воздействие импульсного напряжения на цепь LCr, образующую параллельный колебательный контур (рис. 11,*а*). Сопротивление r является активным сопротивлением (сопротивление обмотки катушки, соединительных проводов и т. д.). Пока ключ К разомкнут, на контуре и его элементах напряжение отсутствует. Как только ключ будет замкнут, по цепи потечет нарастающий во времени ток, конденсатор С начнет заряжаться до напряжения батареи. Разомкнем в этот момент ключ. В отключенном контуре благодаря запасенной в нем электрической энергии (в виде напряжения на конденсаторе и тока в катушке) возникнут колебания. В этом случае произойдет ударное возбуждение контура. Из-за потерь на активном сопротивлении r колебания будут затухающими (рис. 11,б). Частота колебаний, как в любом колебательном контуре, зависит от значений L и С. Если на контур будет действовать импульсное П-образное напряжение, то в контуре каждый раз при появлении короткого П-импульса будут возникать колебания, затухающие к моменту прихода следующего П-импульса. Таким образом, под действием П-образного напряжения полный цикл затухающего колебания будет повторяться с частотой импульсов. Следует отметить, что при ударном возбуждении контура амплитуда первой после отключения источника напряжения полуволны колебания может оказаться весьма значительной и во много раз превысить напряжение источника.

Рассмотренные цепи RC используются в телевизионных приемниках, Так, интегрирующие и дифференцирующие цепи применяются для выделения из телевизионного сигнала синхронизирующих импульсов, управляющих работой генераторов кадровой и строчной разверток. Способ ударного возбуждения контуров применяется для повышения эффективности работы генератора строчной развертки, а также получения высокого напряжения для питания кинескопа.

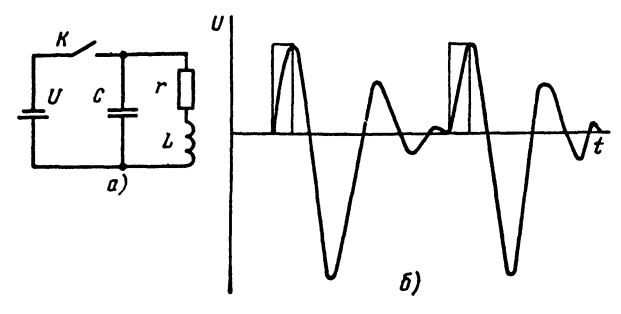


Рис. 11. Цепи LCr при импульсном напряжении:
а — контур LCr; *б* — колебания в контуре под воздействием П-импульсов

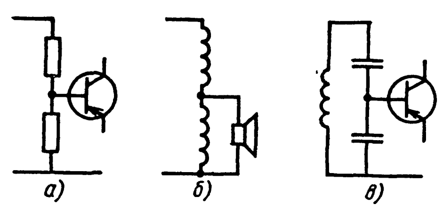


Рис. 12. Делители напряжения:
а — делитель из резисторов; *б* — делитель из катушек индуктивностей; *в* — емкостный делитель

Делители напряжения. Для уменьшения напряжения в определенное число раз используют делители напряжения, составляемые из резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности (рис. 12). Делители из резисторов могут работать как при постоянном, так и при переменном токе. Делители из конденсаторов и катушек индуктивности используются при переменном токе. Так, на входе телевизоров резистивные делители применяются для ослабления (в 10, 100 раз) сильного телевизионного сигнала в ближайшей зоне действия телецентра. Напряжение, поданное на электрод лампы или транзистора с делителя, составленного из резисторов, в меньшей степени зависит от колебаний тока электрода, чем напряжение, полученное с помощью гасящего резистора. Однако такой делитель, потребляющий ток, нецелесообразно использовать в тех случаях, когда желательно экономить энергию, например при батарейном питании. Здесь лучше применить гасящий резистор. Делитель из конденсаторов (рис. 12,*в*) используется для согласования входа транзисторного каскада с контуром.

Частотные и нелинейные искажения. В любом усилительном устройстве могут возникать искажения усиливаемого сигнала. Важной задачей является их снижение до допустимого уровня. Одной из наиболее распространеных характеристик усилительного устройства является его частотная характеристика, показывающая, как зависит коэффициент усиления устройства K от частоты сигнала в диапазоне частот от наинизшей частоты $f_н$ до наивысшей $f_в$.

На рис. 13,*а* показана частотная характеристика идеального устройства (кривая 1), которое, судя по характеристике, одинаково усиливает сигналы

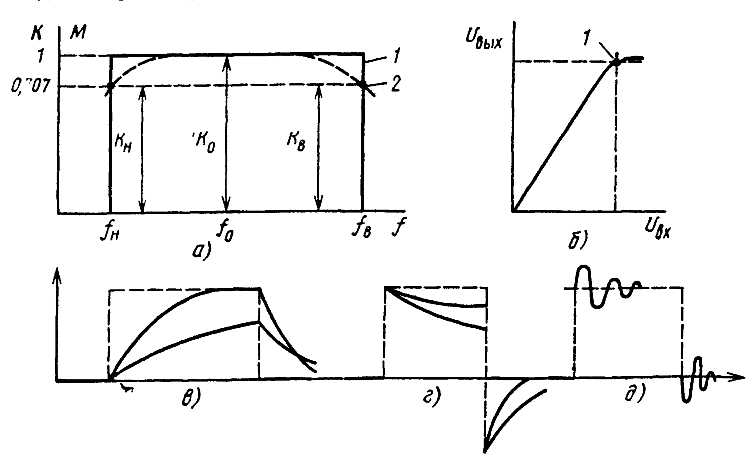


Рис. 13. Частотные и нелинейные искажения:
а — частотная характеристика усилителя; *б* — амплитудная характеристика; *в—д* — искажения П-импульса

всех частот, находящихся в заданном диапазоне частот $f_н$—$f_в$. В реальных условиях получить подобную характеристику невозможно — в пределах диапазона коэффициент усиления изменяется, снижаясь на граничных частотах (кривая 2). Частотные искажения оцениваются коэффициентом частотных искажений М, равным отношению коэффициента усиления на средних частотах K_0 к коэффициенту усиления на граничных частотах, т. е. $M=K_0/K_н$ (или $K_0/K_в$). В области звуковых частот ухо человека не замечает частотных искажений, если спад или подъем звукового давления, которое пропорционально напряжению на звуковой катушке динамической головки, на граничных частотах не превышает ±30%. Поэтому для этих частот можно считать допустимым значение М не более 1,3 и не менее 0,7. Искажения другого вида возникают, когда рост входного сигнала вызывает непропорциональный рост выходного сигнала усилительного устройства. На рис. 13,*б* приведена зависимость выходного напряжения усилителя от входного. Линейное нарастание напряжения $U_{вых}$ с ростом $U_{вх}$ здесь прекращается вблизи точки 1. Дальнейшая нелинейность характеристики может вызываться нелинейностью характеристик усилительных элементов — транзисторов, ламп. При этом в выходном сигнале появляются частотные составляющие, которых не было во входном сигнале. Нелинейные искажения проявляются в заметном на слух ухудшении звука. Их оценивают коэффициентом нелинейных искажений К и обычно выражают в процентах. В усилителях высокого класса они составляют доли процентов. В менее высококачественных допускается значение К до нескольких процентов.

Проверка с помощью осциллографа формы выходного импульса при подаче на вход усилительного устройства импульсного напряжения и ее отличий от формы входного импульса часто позволяет установить причину, вызвавшую искажения. На рис. 13,*в* показано, как входной импульс (штриховая линия) искажается на выходе усилительного каскада, если к его нагрузке присоединен конденсатор большой емкости или если сопротивление нагрузки каскада велико. Искажения вида, показанного на рис. 13,*г*, объясняются снижением усиления каскада в низкочастотной части полосы пропускания, обусловленным обычно недостаточными постоянными времени переходных RC цепей в каскаде. Искажения вида, показанного на рис. 13,*д*, появляются, когда в каскаде возникают случайные колебания из-за связи между соединительными цепями, большой собственной емкости активного элемента, влияния корректирующих катушек индуктивности и пр.

Обратная связь. В радиотехнических устройствах для достижения определенного эффекта весьма часто используется обратная связь. Представим себе качающийся под действием толчка маятник. Колебания его после одного толчка, продолжаясь с убывающей амплитудой, в какой-то момент прекратятся — маятник остановится. Если периодически подталкивать маятник в такт с колебаниями, то маятник будет качаться, пока мы его подталкиваем. Благодаря подталкиванию затухающие колебания маятника превратятся в незатухающие. Если, качнув маятник один раз, мы будем подталкивать его не в такт с начавшимися колебаниями, то после хаотических движений он остановится. В первом случае говорят, что подталкивание маятника производится в фазе, а во втором случае — не в фазе с собственными колебаниями маятника.

Представим теперь, что имеется усилитель У (рис. 14). На его входе установлен резистор R. Сигнал на вход усилителя от внешнего источника не поступает. Соединим выход усилителя со входом через разделительный конден-

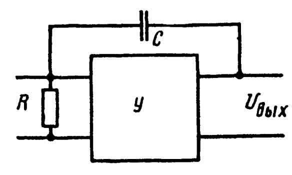


Рис. 14. К пояснению обратной связи

сатор C и подадим на усилитель напряжение питания. Несмотря на отсутствие входного сигнала, на выходе усилителя появится небольшое напряжение, возникающее в усилителе из-за внутренних шумов. Через конденсатор C напряжение шума поступает на резистор R, что равносильно подаче сигнала на вход усилителя. Усилитель имеет некоторый коэффициент усиления, и поданный на его вход сигнал будет усиливаться. Поскольку выход усилителя связан со входом, на резистор R поступит усиленное напряжение шумов, которое вновь усилится, и т. д. Если напряжение с выхода усилителя подается на вход в фазе, т. е. при нарастании сигнала на входе сюда же поступает нарастающий выходной сигнал, то в усилителе возникнут электрические колебания, частота которых будет зависеть от емкости конденсатора C и других элементов усилителя, через которые проходит ток сигнала. Для поддержания колебаний в усилителе используется энергия постоянного тока, питающая усилитель. Таким образом, из усилителя получился источник колебаний, т. е. генератор. Обратная связь, из-за которой возникли колебания, называется положительной обратной связью.

Большинство генераторов вырабатывает электрические колебания именно благодаря использованию положительной обратной связи. Что же касается усилителей, то в них стремятся не допустить образования положительной обратной связи, губительной для усилителя, поскольку стабильность его работы при этом может нарушиться в такой степени, что им уже нельзя будет воспользоваться. С этой целью принимают соответствующие меры при монтаже усилителя: разносят провода входных и выходных цепей, экранируют провода, используют развязывающие цепи и т. д.

Допустим теперь, что выходной сигнал поступает на вход не в фазе с входным напряжением. При этом результирующее напряжение на входе будет не расти, а уменьшаться. Обратная связь, осуществленная таким образом, называется отрицательной обратной связью. Она снижает коэффициент усиления усилителя. Однако, несмотря на это, ее применение приводит к улучшению целого ряда параметров усилителей, поэтому она широко используется практически в любом усилителе звуковой частоты. За счет применения отрицательной обратной связи удается снизить нелинейные искажения, выровнять частотную характеристику усилителя, сделать его параметры менее зависимыми от колебаний питающих напряжений или от смены транзисторов (ламп), повысить входное сопротивление усилителя и т. д.

Глава 2

САМОДЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

В комплект измерительных приборов начинающего радиолюбителя входят осциллограф, генератор звуковой частоты, генератор импульсов, генератор высокой частоты и мост для измерения сопротивлений и емкости. Приборы собирают на отдельных платах и устанавливают в соответствующих

корпусах. Осциллограф собирается в ящике со съемными боковыми стенками. Трансформатор питания помещают в кожух, пристыковывая его к осциллографу.

2.1. Осциллограф

В переводе на русский язык слово «осциллограф» означает «устройство для записи изображений». На практике осциллограф используют для графического отображения каких-либо электрических процессов. Он может быть механическим, когда запись осуществляется на движущуюся основу (например, бумагу), или электронным, когда изображение получают на экране электроннолучевой трубки (ЭЛТ). Для наблюдения электрических процессов в радиотехнических цепях часто используют электронные осциллографы.

Основу такого осциллографа составляет ЭЛТ, представляющая собой стеклянную вакуумную колбу с установленными внутри электродами и слоем люминофора на торцевой части, образующей экран.

Устройство ЭЛТ схематически показано на рис. 15. Из катода К, нагреваемого с помощью нити накала Н, излучаются электроны. Между катодом и анодом А приложено высокое постоянное напряжение (плюс на аноде). Под действием этого напряжения электроны устремляются в сторону анода, последовательно проходя на своем пути сквозь отверстия в модуляторе М и фокусирующем электроде Ф. В некоторых случаях фокусирующий электрод и анод называют первым и вторым анодами соответственно. Поскольку в аноде также имеется отверстие, то электроны, набравшие скорость, по инерции проходят через него и, минуя две пары пластин $О_x$ и $О_y$, попадают на люминофор Л, вызывая его свечение — на экране появляется светящееся пятно. Используемый в ЭЛТ люминофор обладает способностью излучать свет не только в момент попадания электронов, но и спустя некоторое время после их воздействия, т. е. он обладает послесвечением. Это послесвечение составляет для обычных осциллографических трубок доли секунды и проявляется в том, что нарисованное на экране изображение быстро протекающего процесса удержива-

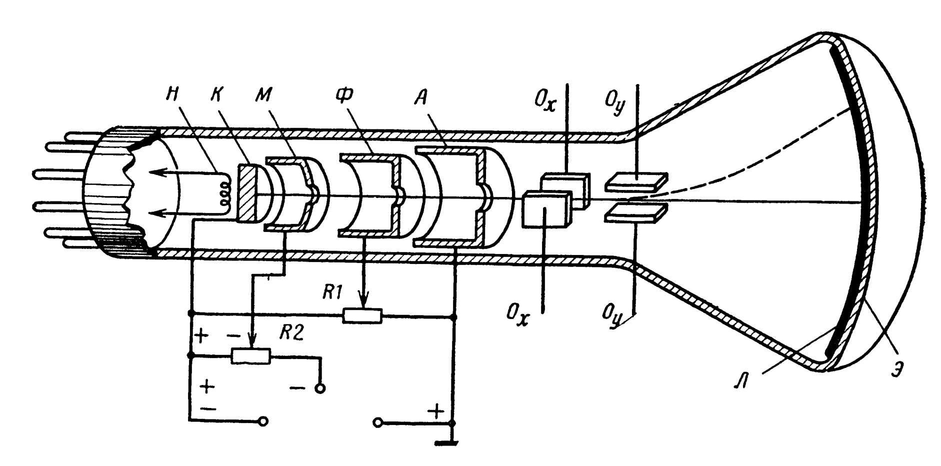


Рис. 15. Устройство ЭЛТ

ется в течение времени, необходимого глазу для его детального рассмотрения. Здесь учитывается физиология зрения.

Электроны, имеющие одноименный отрицательный заряд, стремятся оттолкнуться друг от друга, поэтому пятно на экране не имеет четких границ. Чтобы вместо расплывчатого пятна получить светящуюся точку, электронный поток должен быть соответствующим образом сфокусирован. С этой целью на- напряжение на фокусирующий электрод Ф подают с движка переменного резистора R1, чем обеспечивается возможность плавной фокусировки луча. Для изменения количества электронов, попадающих на люминофор, и, следовательно, яркости его свечения на модулятор М подают отрицательное относительно катода напряжение с движка переменного резистора R2. Регулируя сопротивление резистора R2, можно изменять количество электронов, проходящих сквозь отверстие в модуляторе. При достаточно большом отрицательном напряжении на модуляторе (движок переменного резистора R2 в крайнем правом положении) электроны, отталкиваясь от него, не смогут пройти сквозь отверстие в модуляторе и экран светиться не будет. В результате взаимодействия электрических полей модулятора, фокусирующего электрода и анода при определенных напряжениях на электродах можно получить на экране ЭЛТ яркую точку диаметром в десятые доли миллиметра, т. е. сфокусировать луч.

На пути электронов взаимно перпендикулярно расположены отклоняющие пластины O_x и O_y (см. рис. 15). Если на пластины не подано напряжение, электронный луч, проходя по оси ЭЛТ, создает светящуюся точку примерно в центре экрана. Допустим, что к пластинам O_y приложено какое-то постоянное напряжение, причем верхняя пластина находится под положительным потенциалом, а нижняя — под отрицательным. В этом случае электронный луч отклонится от первоначального положения в сторону верхней пластины и точка на экране переместится вверх. Если полярность приложенного к пластинам напряжения изменить (минус на верхней пластине, плюс — на нижней), то точка переместится вниз. Смещение точки в сторону от центра будет тем большим, чем больше напряжение на пластинах O_y. При чрезмерном напряжении точка вообще может переместиться за пределы экрана, а электроны будут «оседать» на положительной пластине. Подавая напряжение на пластины O_y, мы перемещаем точку на экране в вертикальном направлении или, как говорят, по оси Y. Поэтому пластины O_y называют вертикальными. Если на пластины O_y подать напряжение переменного тока с частотой 1 Гц, то точка на экране каждую секунду будет перемещаться из среднего положения в крайнее верхнее, затем, минуя среднее положение, в крайнее нижнее и вновь в центр экрана, и т. д. Это движение точки из-за малой скорости будет заметно для глаз.

При значительном увеличении частоты переменного напряжения отдельные фазы движения точки не будут различаться глазом, а на экране появится слитная неподвижная вертикальная линия, длина которой будет тем больше, чем больше значение напряжения, поданного на пластины. Ясно, что в этом случае увидеть форму колебания не удастся. Чтобы на экране была изображена форма колебания, нужно одновременно перемещать луч в горизонтальном направлении. Для этого в ЭЛТ используют вторую пару пластин O_x. При подаче напряжения на пластины O_x отклонение точки на экране будет происходить в горизонтальном направлении, т. е. по оси X. Пластины O_x поэтому называют горизонтальными. Наличие двух пар отклоняющих пластин позволяет подавать на них соответствующие напряжения и перемещать светящееся пятно

по экрану в любом направлении, т. е. действовать электронным лучом как своеобразным карандашом и «рисовать» на экране осциллографа практически любые фигуры.

Для получения действительного изображения формы какого-либо переменного напряжения необходимо, чтобы напряжение, отклоняющее луч в горизонтальном направлении (напряжение развертки), изменялось по определенному закону. В большинстве случаев в качестве напряжения развертки используют напряжение, равномерно увеличивающееся, например, от нуля до какого-то уровня и резко спадающее до первоначального значения. Такое напряжение, напоминающее по форме зубья пилы, называется пилообразным. На рис. 16 показан один период пилы. Участок О — *а*, в пределах которого напряжение возрастает, считается прямым ходом, а а—б, где напряжение резко снижается — обратным ходом пилообразного напряжения. Это напряжение (напряжение развертки), приложенное в определенной фазе к пластинам O_x и имеющее частоту не менее 25...30 Гц заставит электронный луч сравнительно медленно перемещаться слева направо за время прямого хода и значительно быстрее справа налево — за время обратного хода. На экране ЭЛТ появится горизонтальная линия. Здесь имеется прямая аналогия с движением карандаша по бумаге: когда пишут, карандаш медленно передвигают слева направо (прямой ход) и быстро возвращают в исходное положение (обратный ход) к началу новой строки.

Представим теперь, что в то время, как электронный луч под воздействием напряжения развертки чертит на экране горизонтальную линию, на вертикальные пластины подается напряжение сигнала, например, показанной на рис. 17 ступенчатой формы. Допустим, что период T этого напряжения равен периоду пилообразного напряжения развертки (штриховая линия на рис. 17). Будем считать, что длительность обратного хода равна нулю. Электронный луч в этом случае поведет себя как карандаш в руке чертежника, заостренным кончиком карандаша будет светящаяся точка на экране, а бумагой — слой люминофора. Условимся, что процесс нарастания ступенчатого и пилообразного напряжения начинается одновременно в момент $t=0$. Начав движение, точка переместится в горизонтальном направлении до момента t_1, когда напряжение сигнала скачком возрастет до значения U_1. При этом точка переместится вверх по экрану на соответствующее расстояние и затем продолжит движение в горизонтальном направлении до момента t_2, когда напряжение сигнала возрастет до значения U_2. В тот же момент точка на экране займет новое положение, переместившись вверх, и продолжит движение до момента t_3.

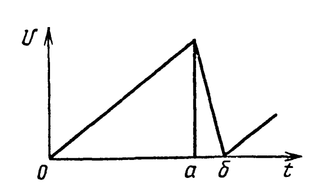


Рис. 16. Пилообразное напряжение

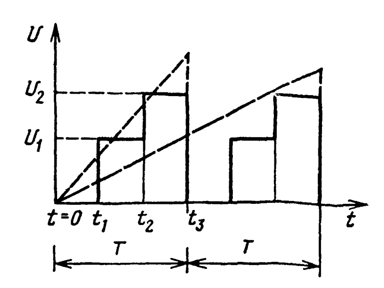


Рис. 17. Сигнал ступенчатой формы

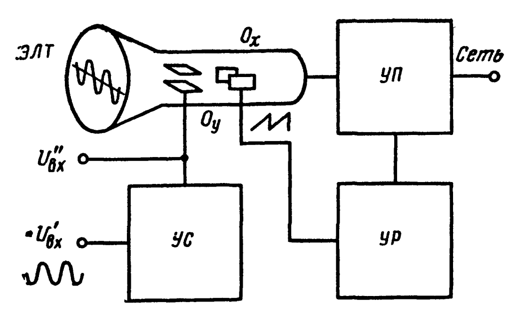


Рис. 18. Функциональная схема осциллографа

когда напряжение сигнала спадет до нуля. Таким образом на экране ЭЛТ будет нарисована картина, повторяющая форму ступенчатого напряжения, поданного на вертикальные пластины. Нетрудно представить, что если бы период пилообразного напряжения по длительности превышал в 2 раза период ступенчатого напряжения, то на экране были бы нарисованы два периода ступенчатого напряжения, и т. д. Так могут быть получены изображение любого другого электрического процесса, его осциллограмма.

Теперь можно представить, из каких основных узлов, кроме ЭЛТ, должен состоять осциллограф. Прежде всего в нем должен быть узел электропитания УП. Далее необходим узел развертки УР, создающий пилообразное напряжение. И все... Этих двух узлов достаточно, чтобы собрать простейший осциллограф. Его функциональная схема приведена на рис. 18. Из нее видно, что напряжение сигнала $U''_{вх}$, осциллограмму которого предполагается рассмотреть, подается на вертикальные отклоняющие пластины O_y. Чтобы осциллограмма была удобна для наблюдения, вертикальный размер ее должен составлять 20 ... 30 мм, а это значит, что на пластины O_y ЭЛТ, работающей в типовом режиме, должно быть подано напряжение от десятков до сотни вольт. В подавляющем большинстве случаев напряжение сигнала, подлежащего изучению с помощью осциллографа, имеет во много раз меньшее значение и нуждается в усилении. Поэтому в функциональную схему добавляют узел усиления сигнала УС.

Рассмотрим возможность технической реализации функциональной схемы осциллографа, показанной на рис. 18. Для этого необходимо сформулировать общие требования к прибору.

Осциллограф предназначен для наблюдения электрических процессов, периодических колебаний, импульсных напряжений и токов. Он должен обеспечивать возможность измерять напряжения постоянного и переменного тока, параметры импульсов, сопротивления, емкости и другие электрические величины. Основные технические данные осциллографа:

Наименьшее значение напряжения, подаваемого на вход Y для получения осциллограммы размером по вертикали не менее 15 мм, В	0,05 ... 0,1
Полоса частот усилителя входного сигнала, Гц	20 ... 20 000
Частота развертки *, Гц	20 ... 30 000
Пределы измерения напряжения постоянного тока, В	1 ... 1000
Пределы измерения напряжения переменного тока и импульсного напряжения, В	1 ... 500
Пределы измерения сопротивления, Ом	50 ... 4 000 000
Пределы измерения емкости, МкФ	0,001 ... 10
Напряжение питающей сети, В	220, 127, 110

* Амплитуда развертки в указанном диапазоне частот должна быть достаточной для получения линии развертки, равной по длине диаметру экрана ЭЛТ.

Исходя из приведенных требований выбирают электронно-лучевую трубку, радиодетали, составляют принципиальную схему осциллографа. В качестве ЭЛТ для любительского прибора целесообразно использовать трубки 8ЛО29И с экраном диаметром 80 мм, 5ЛО38И (50 мм) или другие аналогичные трубки широкого применения. В описываемой конструкции применена ЭЛТ 8ЛО29И, хорошо работающая при напряжении на аноде, уменьшенном более чем вдвое по сравнению с паспортным значением. При этом яркость экрана и качество фокусировки остаются вполне удовлетворительными. Использование в любительском приборе ЭЛТ в режиме с пониженным анодным напряжением имеет ряд преимуществ. Во-первых, повышается чувствительность по отклонению к напряжению отклоняющих пластин O_xO_y. При паспортном режиме питания чувствительность пластин O_y для трубки 8ЛО29И составляет только 0,2 мм/В. Это значит, что если к отклоняющим пластинам приложить напряжение постоянного тока, равное 1 В, то электронный луч, а следовательно, точка на экране переместятся на 0,2 мм, при 10 В — на 2 мм. Чтобы получить отклонение на 20 мм потребуется уже 100 В. При понижении анодного напряжения до 600 ... 700 В (вместо паспортного 1500 В) для перемещения точки на 20 мм требуется отклоняющее напряжение около 20 В — чувствительность возрастает в 5 ... 6 раз! При этом требования к узлу питания, от которого потребуется меньшее напряжение, значительно упрощаются.

Уже говорилось, что в простейшем любительском осциллографе вместо транзисторов предпочтительнее использовать радиолампы. Перечисленным ранее требованиям можно удовлетворить, если использовать в устройстве комбинированную радиолампу триод-пентод типа 6Ф4П. В этом случае пентод можно применить для усиления напряжения сигнала, а триод — для получения напряжения развертки. По паспортным данным, напряжение питания этой лампы может достигать 550 В. Практически она успешно работает при напряжении 600 В, т. е. при напряжении, достаточном и для одновременного питания ЭЛТ. Это позволяет в узле питания применить один общий выпрямитель и для лампы, и для ЭЛТ. В обычных же осциллографах используют не менее двух выпрямителей: один для питания устройства, другой для трубки.

Принципиальная схема. Принципиальная схема, соответствующая выбранной функциональной, приведена на рис. 19. Она содержит четыре узла: усилителя сигнала, развертки, ЭЛТ и питания. Так как на отклоняющие пластины подается сигнал, а источник сигнала, как правило, соединен с общей шиной, то пластины по одной из каждой пары, а также анод ЭЛТ должны иметь потенциал общей шины. Положительный вывод выпрямителя также должен быть соединен с этой шиной.

В ламповых схемах обычно принято «заземлять» (соединять с общей шиной) отрицательный полюс выпрямителя. В нашем случае, когда для питания ЭЛТ и лампового устройства используется общий выпрямитель, заземленным оказывается положительный полюс питающего лампу источника. Это не является каким-либо недостатком устройства, но требует установки на входе добавочного разделительного конденсатора С2.

Усилитель сигнала собран на пентодной части лампы VL1. Исследуемый сигнал подается на гнездо X1 «Вход ~», если это переменный ток, или на гнездо X2 «Вход=», если постоянный. Низкопотенциальный провод от источника сигнала соединяют с зажимом «Общий провод» X3. Перемещенный резистор R1 «Усиление» используется для плавной регулировки уровня входного сигнала и

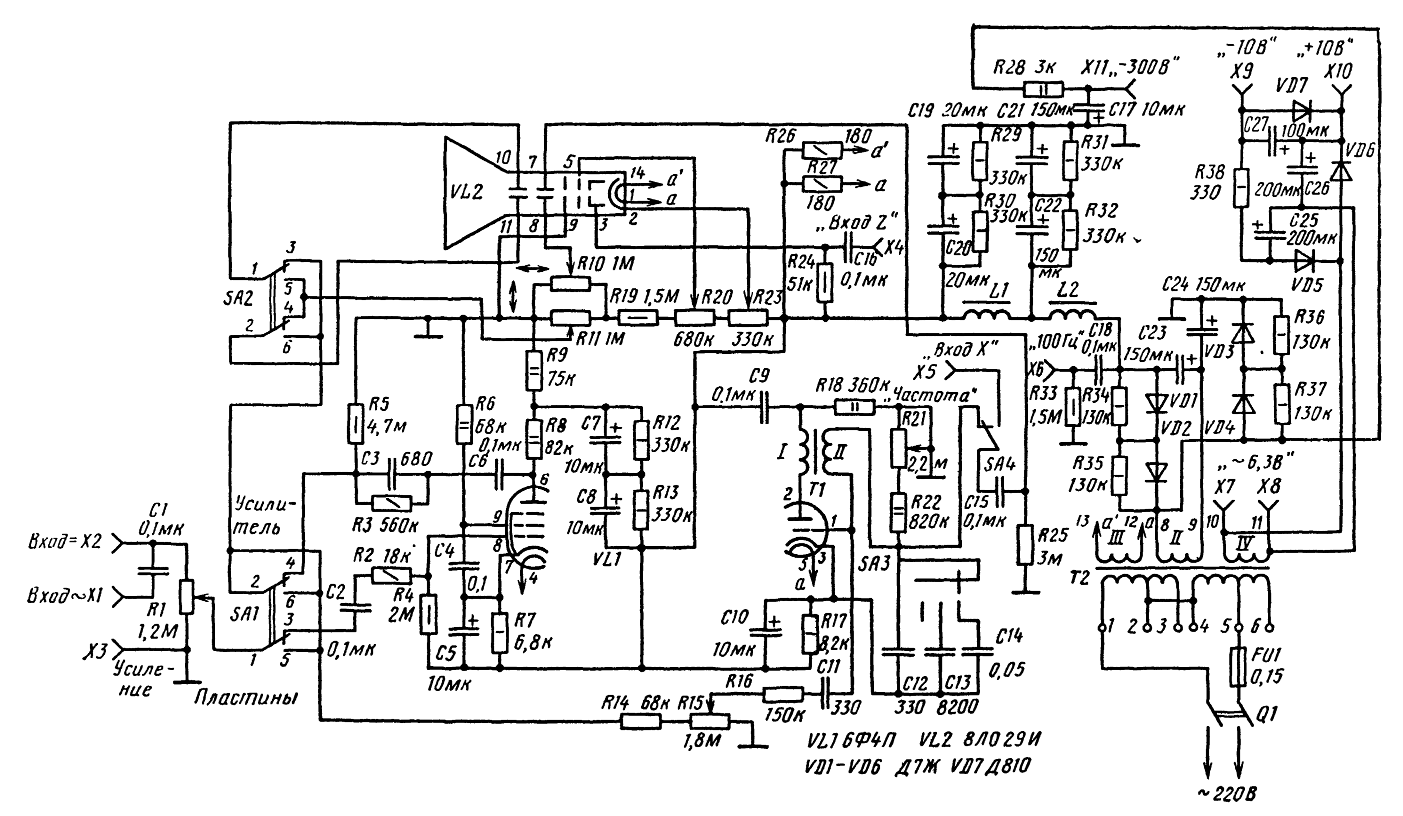


Рис. 19. Принципиальная схема осциллографа (левый конец резистора R28 подсоединен к выводу 9Т2)

соответственно вертикального размера осциллограммы. В зависимости от вида сигнала переключатель SA1 переводят в положение «Усилитель», при котором замкнуты контакты 1—3, 2—4 (переменный ток), либо в положение «Пластины», при котором замкнуты контакты 1—5, 2—6 (постоянный ток, переменный ток с амплитудой более 5 В, не содержащий постоянной составляющей). В положении «Усилитель» сигнал через разделительный конденсатор C1 с движка резистора R1 через разделительный конденсатор C2 и резистор R2, установленный для повышения стабильности работы усилителя, поступает на управляющую сетку лампы VL1 (пентода). Резистор R4 является резистором утечки сетки. Резистор R7 включен для получения напряжения смещения. Конденсатор C5 блокирующий. Напряжение на экранную сетку пентода поступает через гасящий резистор R6.

В анодной цепи пентода включен резистор нагрузки R8. Резистор R9 и конденсаторы C7 и C8 образуют корректирующую цепь, улучшающую воспроизведение сигналов с наиболее низкими частотами (30 ... 40 Гц). Для хорошей коррекции конденсатор, включенный в цепь, должен иметь возможно большую емкость (50 ... 100 мк), и поэтому приходится применять электролитический конденсатор. Поскольку рабочее напряжение такого конденсатора не превышает 450 В, во избежание пробоя вместо одного конденсатора установлено два, включенных последовательно. Резисторы R12 и R13 служат для выравнивания напряжений на конденсаторах C7 и C8. При последовательном включении конденсаторов равной емкости результирующая емкость будет вдвое меньше емкости каждого конденсатора в отдельности, но в данном случае это несущественно.

С анода пентода VL1 усиленное напряжение сигнала через разделительный конденсатор C6 и цепь R3, C3, расширяющую полосу пропускания усилителя в области высоких частот, поступает через контакты 2—4 переключателя SA1 на пластины вертикального отклонения. Переключатель SA2 установлен для изменения полярности подаваемого на пластины напряжения.

В узле развертки используется триодная часть лампы VL1. В анодную цепь триода включена первичная обмотка трансформатора T1, вторичная обмотка — в цепь сетки. Между обмотками трансформатора имеется сильная связь. Как только на лампу поступает напряжение питания, анодный ток триода начинает нарастать. С такой же скоростью нарастает напряжение на вторичной обмотке, включенной в цепь сетки таким образом, что сетка оказывается под отрицательным по отношению к катоду потенциалом. Одновременно через резисторы R21, R22 заряжается конденсатор C12. Причем напряжение на обмотке (на сетке — отрицательное) нарастает с большей скоростью, чем заряд конденсатора C12.

По мере увеличения отрицательного напряжения на сетке замедляется нарастание анодного тока. Как только анодный ток достигнет установившегося значения и его нарастание прекратится, напряжение на сеточной обмотке исчезнет, триод откроется, конденсатор C12 быстро разрядится через промежуток сетка — катод триода. В этот момент анодный ток скачком возрастет, на сеточной обмотке вновь начнет нарастать напряжение, минус которого будет на конце обмотки, присоединенном к сетке, и процесс повторится. При работе устройства на конденсаторе C12 возникнет переменное напряжение пилообразной формы с частотой, зависящей от емкости этого конденсатора и сопротив-

ления резисторов R21 и R22. Резистор R22 служит также для предотвращения замыкания сетки на положительный полюс источника питания.

Для плавной регулировки частоты пилообразного напряжения используется потенциометр R21 «Частота». Для расширения диапазона частот развертки (с помощью переключателя SA3 «Диапазон») включается конденсатор C13 или C14. Конденсатор C12 наименьшей емкости включен постоянно. Весь диапазон частот развертки от 20 Гц до 30 кГц разбивается на три поддиапазона: 20...200 Гц (включены конденсаторы C12 и C14), 200...2000 Гц (включены C13 и C12), 2...30 кГц (включен C12). Пилообразное напряжение через разделительный конденсатор C15 и контакты 1—2 переключателя SA4 поступает на горизонтальные пластины. В тех случаях, когда на горизонтальные пластины необходимо подать напряжение от внешнего источника (например, при измерении частоты), переключатель SA4 переводят в положение «Вход X» (замкнуты контакты 1—3) и исследуемый сигнал подается на гнездо X5.

Резистор R17 и конденсатор C10 включены в цепь катода триода для улучшения линейности пилообразного напряжения в низкочастотной части диапазона (20...70 Гц). Резистор R18 установлен для снижения напряжения питания триода до значения, достаточного для его нормальной работы. Конденсатор C9 является блокирующим.

Чтобы получить на экране неподвижную осциллограмму исследуемого сигнала, необходимо, чтобы частоты развертки и сигнала были строго кратны. Это значит, что если частота сигнала составляет, например, 100 Гц, то неподвижное изображение его формы может быть получено при частоте развертки, равной 100 Гц. Здесь соотношение обеих частот составляет 1 : 1. Если бы частота сигнала повысилась до 1000 Гц, то при оставшейся неизменной частоте развертки можно было бы наблюдать на экране 10 полных периодов сигнала. В этом случае частоты сигнала и развертки соотносятся как 10 : 1. Очевидно, что колебания двух частот должны происходить синхронно. Для обеспечения этого часть напряжения сигнала подается на управляющую сетку триода и начинает «управлять» частотой генератора, которая автоматически становится равной или кратной частоте сигнала. Сигнал в этом случае называется синхронизирующим, а весь процесс — синхронизацией генератора. Уже при малых (доли вольта) значениях синхронизирующего сигнала достигается надежная синхронизация. Поэтому сигнал подается на генератор через ограничивающий резистор R14 и переменный резистор R15, позволяющий подобрать оптимальный режим синхронизации. Резистор R16 включен для предотвращения замыкания на общую шину разделительного конденсатора C11 при регулировке резистора R15. Для получения неподвижного изображения резистором R21 при соответствующем положении переключателя SA3 подбирают частоту развертки приблизительно равной или кратной частоте сигнала (осциллограмма останавливается), после чего резистором R15 («Синхронизация») подбирают необходимый уровень напряжения синхронизации, обеспечивающий неподвижность осциллограммы на экране.

В узел ЭЛТ входит делитель напряжения, включенный между выводами выпрямителя и состоящий из резисторов R10, R11, R19, R20, R23. Резисторы R10 и R11 используются для перемещения электронного луча в горизонтальном и вертикальном направлениях соответственно. Перемещение осуществляется при регулировке резисторов за счет введения в цепь отклоняющих пластин постоянного напряжения с движков резисторов. Резистор R11 используется как

подстроечный и размещен внутри корпуса. С переменного резистора R20 «Фокусировка» напряжение подается на фокусирующий электрод ЭЛТ. Оптимальная фокусировка луча достигается при среднем положении движка резистора. Переменный резистор R23 «Яркость» используется для регулировки яркости свечения экрана. При перемещении движка в левую по схеме сторону напряжение на катоде ЭЛТ по отношению к модулятору увеличивается, при этом катод оказывается под положительным, а модулятор под отрицательным потенциалом. Сопротивление резистора R23 выбрано таким, что при его регулировке яркость экрана может изменяться от наибольшей до нуля. Через гнездо X4 «Вход Z» и конденсатор C16 на модулятор можно подавать переменное напряжение для получения меток — темных и светлых участков на осциллограмме. С помощью меток, зная частоту создающего их напряжения, можно определить частоту сигнала. Резистор R24 является резистором утечки для модулятора.

Узел питания осциллографа состоит из выпрямителя и двухзвенного фильтра. В выпрямителе использован трансформатор T2. С обмотки II трансформатора напряжение подается на выпрямитель, собранный по схеме с удвоением напряжения. Диоды VD1—VD4 включены попарно последовательно и зашунтированы резисторами R34—R37, уравнивающими обратные напряжения на каждом из диодов. Этим диоды предохраняются от пробоя и могут обеспечивать на выходе выпрямителя напряжение свыше 600 В.

К узлу питания осциллографа предъявляются особые требования. Он не должен быть источником электрических наводок, которые могут возникнуть из-за плохой фильтрации выпрямленного напряжения. В результате подобных наводок электронный луч в ЭЛТ деформируется — вместо резко очерченной точки на экране появляется эллипс. Осциллограмма, написанная не точкой, а эллипсом, оказывается размытой, нечеткой. Чтобы избежать электрических наводок, пульсации выпрямленного напряжения должны быть возможно меньшими. С этой целью в выпрямителе используется фильтр с двумя идентичными звеньями. В каждом звене установлено по дросселю (L1 и L2). Учтена возможность работы выпрямителя при повышенном напряжении в сети, когда выпрямленное напряжение превышает 600 В. Поскольку электролитические конденсаторы, используемые в фильтрах, рассчитаны на меньшее рабочее напряжение (300 ... 450 В), вместо одного конденсатора используют по два включенных последовательно (C19, C20 и C21, C22). Для уравнения напряжений конденсаторы зашунтированы резисторами R29, R30 и R31, R32. С точки соединения конденсаторов C23 и C24 снимается напряжение — 300 В, которое через развязывающий резистор R28 поступает на гнездо X11 и может использоваться для питания различных макетов, потребляющих ток не более 20 ... 25 мА. Конденсатор C17 — блокирующий.

Предупреждение! Поскольку положительный полюс выпрямителя соединен с общей шиной, то источник питания 300 В имеет отрицательную полярность по отношению к общей шине осциллографа. Этим напряжением, повторим, можно питать только устройства, у которых плюс соединен с общей шиной.

Напряжение для питания накальных цепей лампы и ЭЛТ поступает с обмотки III трансформатора T2. С целью предотвращения наводок с частотой 50 Гц, которые могут проникнуть в устройство по цепям накала, включены резисторы R26 и R27, к точке соединения которых подключен отрицательный

вывод выпрямителя. С обмотки IV к гнездам X7, X8 подводится напряжение 6,3 В, используемое как эталонное и для других целей.

Это напряжение подается на выпрямитель с удвоением напряжения (диоды VD5, VD6, конденсаторы C25—C27, резистор R38). На выходе выпрямителя установлен стабилитрон VD7, обеспечивающий на зажимах X9, X10 стабильное постоянное напряжение 10 В. Оно предназначается для питания транзисторных устройств, потребляющих не более 20 ... 25 мА.

Предупреждение! С массой может быть соединено любое, но только одно из гнезд X7—X10.

К гнезду X6 через цепь C18, R33 подается напряжение пульсаций с частотой 100 Гц, используемое при измерениях частоты, а также для других целей. В цепи сетевых обмоток установлены предохранитель FU1 и выключатель сетевого напряжения Q1, совмещенный с регулятором яркости.

Таблица 1. Радиодетали, используемые в осциллографе

Радиодеталь	Технические данные
Трансформатор T1	Сердечник Ш12×12: обмотка I — 1500 витков ПЭВ-0,08, обмотка II — 3000 витков ПЭВ-0,08. Можно использовать трансформаторы БГК от черно-белых телевизоров «Рубин», «Темп», «Рекорд»
Трансформатор T2	Сердечник Ш25×27: обмотка I — 534+82 витка ПЭТВ-0,35; обмотка I′ — 534+82 витка ПЭТВ-0,35; обмотка II — 1250 витков ПЭТВ-0,2; обмотка III — 34 витка ПЭТВ-0,8; обмотка IV — 34 витка ПЭТВ-0,8. Можно использовать трансформатор питания от любого лампового радиоприемника с напряжением повышающей обмотки не более 230 В
Дроссели L1, L2	Сердечник Ш16×18: обмотка 2000 витков ПЭВ-0,12. Можно использовать дроссели фильтра от черно-белых телевизоров «Рубин», «Темп», ламповых радиоприемников
Переключатель SA3	Галетный на три положения
Конденсаторы C1, C2, C4, C6, C9, C15, C16, C18	Типа МПО, БМТ и другие с рабочим напряжением 600 В, допустимое отклонение от номинала +200 ... —50%
Конденсаторы C21—C24	Типа КЭ-2Н, рабочее напряжение 300 В, допустимо отклонение от номинала —50%
Конденсаторы C19, C20	Типа КЭ-2-М, рабочее напряжение 450 В
Конденсаторы C7, C8, C17	Типа КЭ-2-М, рабочее напряжение 450 В
Конденсаторы C3, C11—C13	Типа КСО-13, допуск ±20%
Резисторы постоянные	Типа МЛТ:
R2—R9, R14, R16—R19, R22, R34—R37	допуск ±20%
R12, R13, R24—R33	допуск ±50%
Резисторы переменные R1, R10, R11, R15, R20, R21, R23	Типа СП, ВК и другие общего применения, R21 — 2 Вт
Конденсаторы C25—C27	Типа К50-6, рабочее напряжение 25 В

Детали и конструкции. Перечень деталей, используемых в осциллографе, приведен в табл. 1. Конструктивно осциллограф выполнен в виде ящика со съемными боковыми стенками и поворотными монтажными панелями (рис. 20,*а*). Размеры ящика, естественно, зависят от размеров использованных в конструкции деталей, и в первую очередь от трансформатора питания Т2, конденсаторов и дросселей фильтра выпрямителя, переключателей и пр. Поскольку при конструировании осциллографа ставилась задача использовать в нем радиодетали, имеющиеся в широкой продаже, а их большинство составляют крупногабаритные изделия, разработанные в прошедшие годы, то увеличены и размеры осциллографа.

На передней панели установлены переменные резисторы R1, R11, R20, R15, R21, R23 (R23/ с выключателем сети), переключатели SA1—SA4, гнезда X1—X10. На левой поворотной панели (со стороны экрана ЭЛТ) установлены лампа VL, трансформатор T1, электролитические конденсаторы C7, C8, две монтажные платы с деталями усилителя, узла развертки и частично узла ЭЛТ, переменный резистор R10. Часть резисторов и конденсаторов монтируется на лепестках деталей, установленных на передней панели.

На правой поворотной панели размещены детали выпрямителей на 600 и 10 В с фильтрами. Конденсаторы фильтра C19—C24, обернутые несколькими слоями плотной бумаги, укреплены на панели с помощью полоски из эластичного синтетического материала шириной 50...70 мм. Здесь же устанавливают гнездо X11 «—300 В», размещают конденсатор C18 и резистор R28.

Чтобы уменьшить магнитные наводки на ЭЛТ, источником которых является трансформатор питания Т2, трансформатор установлен в отдельном съемном кожухе. В рабочем положении кожух с трансформатором размещается на расстоянии от основного ящика, исключающем наводки, а при переноске укрепляется на задней панели ящика с помощью простейшего замкового механизма. Перед установкой кожуха в него укладывают соединительный кабель, связывающий трансформатор с остальной частью устройства, сетевой шнур и другие провода, используемые при работе с осциллографом (входной кабель с зажимом «крокодил» и однополюсной вилкой, два провода с заделанными на концах однополюсными вилками).

Электронно-лучевая трубка укреплена в ящике следующим образом (рис. 20,*б*). На задней панели установлен держатель кольцевой формы с разрезом (рис. 20,*в*). Центр держателя находится на одной оси с центром отверстия в лицевой панели, в которое вставляется ЭЛТ при установке в ящик. Имеющийся на цоколе трубки ключ с некоторым усилием входит в кольцевой держатель. В качестве держателя использован каркас от семиштырьковой панели пальчиковой лампы, в котором сделан соответствующий пропил. По окружности отверстия в лицевой панели для лучшей фиксации положения ЭЛТ уложена разрезанная вдоль полихлорвиниловая трубка. Подобное крепление можно использовать для трубок, имеющих цоколь с ключом (8ЛО29И, 5ЛО38И). Установить бесцокольную ЭЛТ можно с помощью металлического хомута, охватывающего цилиндрическую часть трубки и прикрепленного к верхней панели ящика. При отсутствии ламповой панели для ЭЛТ провода припаивают непосредственно к соответствующим ножкам трубки. Место припайки должно быть хорошо прогрето и залужено. Подобная пайка какой-либо опасности для ЭЛТ не представляет.

Выступающую часть ЭЛТ (экран) закрывают (рис. 20,*г*) шкалой из орга-

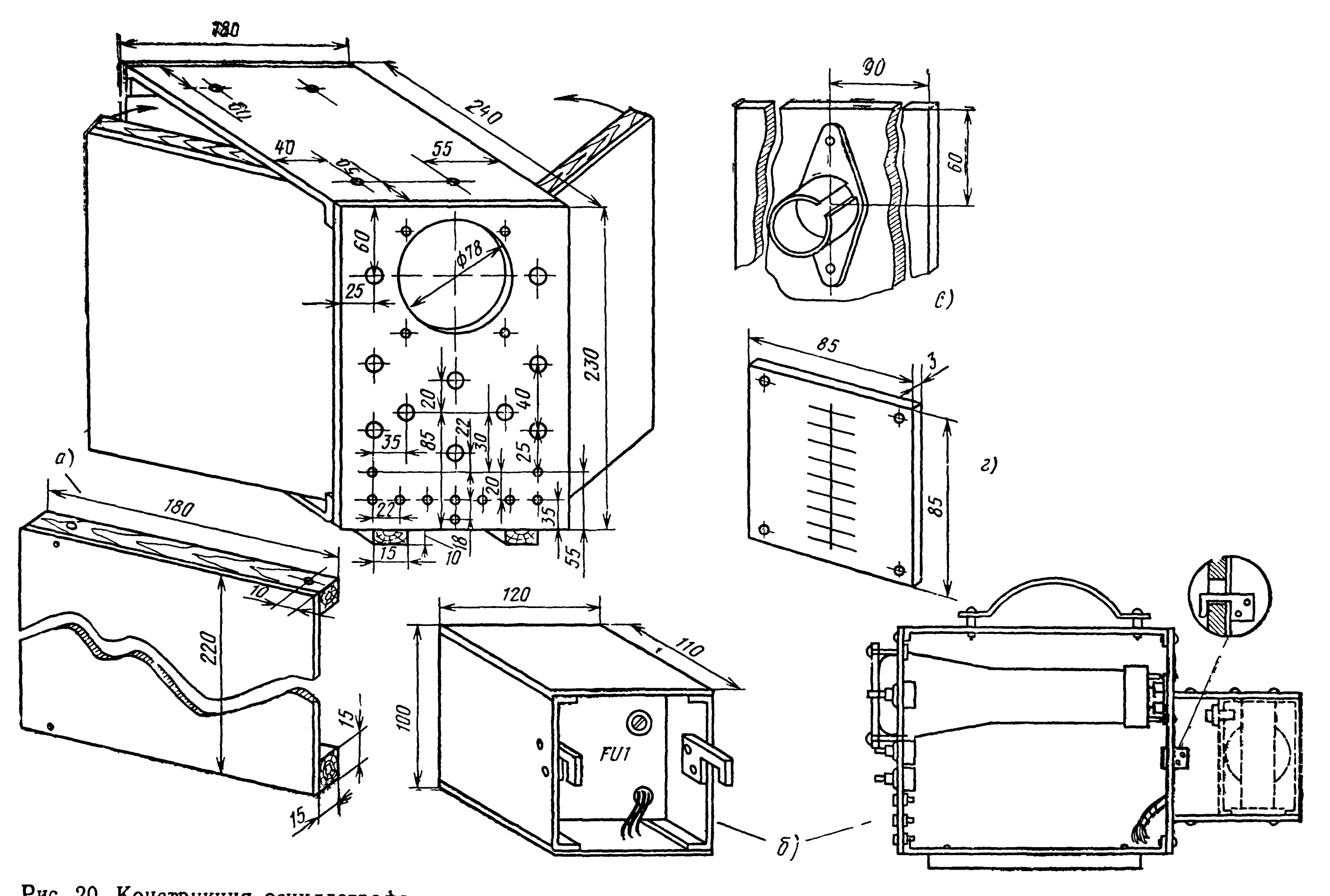


Рис. 20. Конструкция осциллографа

а — поворотные панели; *б* — кожух трансформатора питания и его крепление; *в* — держатель ЭЛТ; *г* — шкала.

нического стекла с нанесенными на нее делениями. Число делений — восемьдесят. Деления в виде горизонтальных рисок прочерчивают заостренным металлическим предметом. Каждое десятое деление должно иметь бо́льшую длину. Чтобы исключить параллакс, деления наносят с обеих сторон шкалы.

Лицевую, верхнюю и нижнюю панели изготавливают из металла толщиной 1,5 ... 2 мм. Заднюю стенку можно изготовить из фанеры толщиной 4 ... 6 мм, а поворотные панели — из прессшпана, оргалита и т. п. К панелям в верхней и нижней частях прикрепляют деревянные планки с отверстиями под крепежные винты. Чтобы повернуть панель, выворачивают винт, находящийся ближе к задней стенке. Для переноски осциллографа к верхней панели прикреплена ручка. Под нижней панелью укреплены две деревянные рейки, заменяющие ножки.

Кожух трансформатора Т2 изготовлен из металла толщиной 1,5 ... 2,0 мм (рис. 20,*б*). На трансформаторе укреплена панель с установленным на ней держателем предохранителя FU1. Панель отделяет трансформатор от места в кожухе, где размещаются провода. Трансформатор вместе с панелью устанавливают в кожух и закрепляют в нем. На боковых сторонах кожуха устанавливают Г-образные направляющие, изготовленные из металла толщиной 2 ... 3 мм. Выступающие за габаритные размеры кожуха, они играют роль замков: кожух приставляют к задней стенке ящика таким образом, чтобы направляющие входили в продольные вертикальные пазы на стенке и после перемещения кожуха вниз надежно закрепляли его в состыкованном с ящиком положении.

Трансформатор соединяют с остальным устройством с помощью кабеля (восемь отрезков провода в хлорвиниловой трубке), концы которого припаивают к лепесткам монтажной планки. При желании для соединения можно использовать восьмиштырьковый разъем любого типа.

Монтаж и налаживание. Монтаж осциллографа выполняют, руководствуясь принципиальной и монтажной (рис. 21) схемами. Чтобы свести к минимуму время, затрачиваемое на налаживание аппарата, перед монтажом все детали следует проверить. Для проверки деталей на отсутствие короткого замыкания необходимо изготовить пробник (рис. 22), который будет полезен и в дальнейшем при проверке или ремонте других устройств. В качестве измерительного прибора РА можно применить любой микроамперметр или миллиамперметр со шкалой до 1 мА. В пробнике используют батарею постоянного тока напряжением 1,5 В. При более высоком напряжении в проверяемых цепях, содержащих транзисторы и микросхемы, возможен пробой этих изделий. Для нормальной работы пробника необходимо, чтобы при замкнутых гнездах X1, X2 и среднем положении движка переменного резистора R1 стрелка прибора отклонялась на всю шкалу. Последнее деление шкалы принимается за нуль. Если известен ток отклонения прибора (на всю шкалу), то суммарное сопротивление резисторов R1 и R2 определяют по формуле $R1+R2=1500/I$, где I — ток отклонения стрелки прибора на всю шкалу в миллиамперах. Найдя суммарное сопротивление, определяют сопротивление каждого резистора, разделив суммарное пополам (т. е. $R1=R2$). Полученное значение переменного резистора R1 увеличивают на 30 ... 40%, чтобы иметь некоторый запас при установке стрелки пробника на условный нуль.

Конструкция пробника зависит от габаритных размеров примененного прибора. При его относительно небольших размерах пробник можно разместить, например, в пластмассовой мыльнице.

R23
„Яркость"
Q1
R20
„Фокус"
200-2,0
20-
-200
2,0-
-30,0
R11
R21
„Усилитель"
SA1
SA3
„⩘"
SA4
„Частота"
R1
„Диапазон"
R15
+
SA2
„Вход X"
„Усиление"
„Пластины"
„Синхронизация"
−
„Полярность"
X1
„Вход ~"
X10
„Вход ="
X6 „100Гц"
„±10В"
X2
X4
X5
X7
„~6,3В"
X8
X9
„Вход Z"
„Вход X"
X3

а)

R10
к R15
к 1VL1
к 3VL1
к C10 R17
к 7VL2
C15
к R21
R17
C14
C13
C12
к −600В
C16
R16
C11
C10
R18
R22
R25
R26
R24
к X4
R27
к 3VL2
T1
к C10
VL1
R12
к SA3
к SA4
R13
SA3
C9
C7
C8
a
a'
R2
R4
C4
R6
R5
R9
R8
C6
R3
C3
R7
C5
C2
к 3SA1
к −600В
к 9VL1
к C7R12
к 4SA1

б)

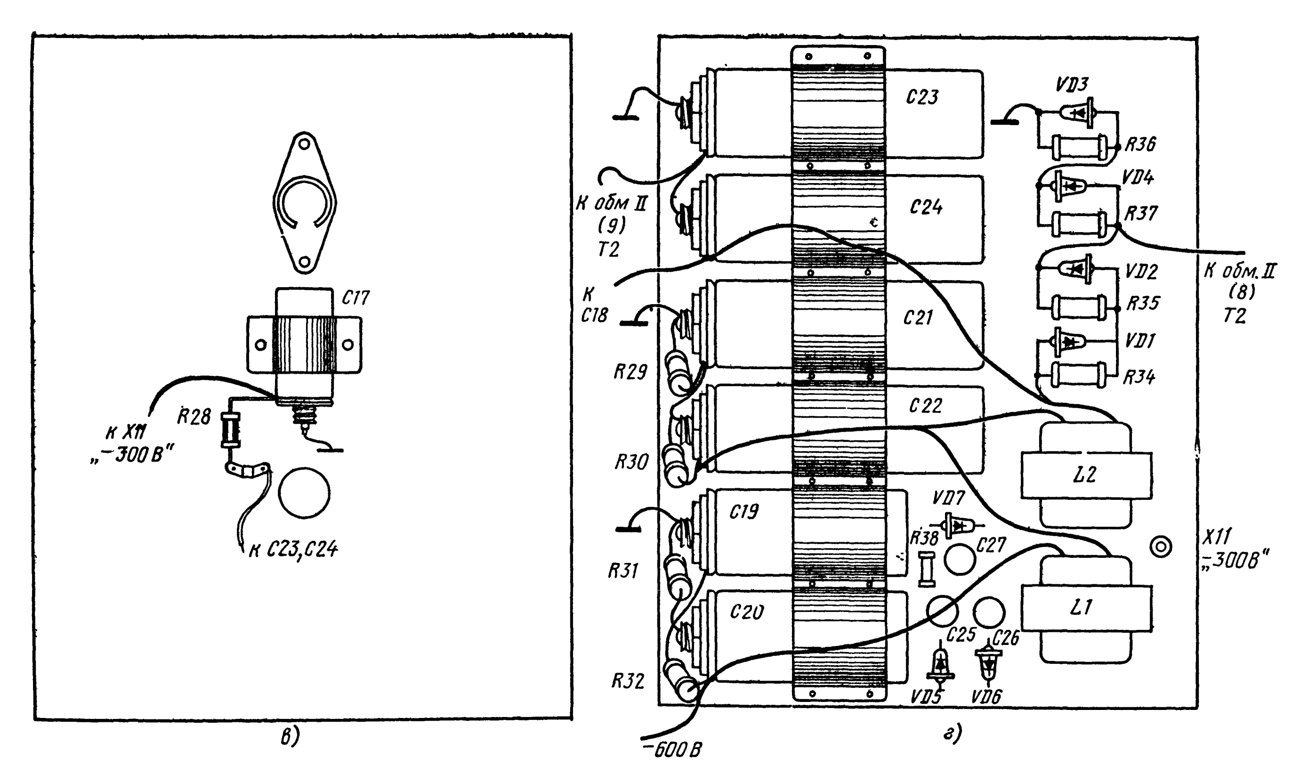


Рис. 21. Монтажная схема:

а — лицевая панель; б — панель усилителя и развертки; в — панель выпрямителя; г — задняя панель

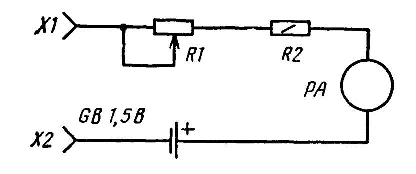


Рис. 22. Пробник

Проверив с помощью пробника детали, приступают к монтажу. Резисторы и конденсаторы припаивают к монтажным лепесткам, представляющим собой полоски жести шириной 3...5 мм, пропущенные с усилием сквозь отверстия в плате и загнутые с обеих сторон. При пайке необходимо соблюдать осторожность, не допускать растекания расплавленного припоя, что может привести к замыканиям между близкорасположенными деталями или монтажными лепестками. Детали необходимо устанавливать так, чтобы была видна их маркировка.

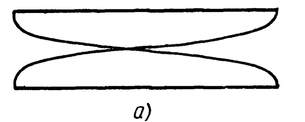
Перед началом проверки осциллографа от него отделяют кожух с трансформатором и размещают трансформатор на возможно большем расстоянии от основного ящика (60...70 см). При налаживании необходимо соблюдать особую осторожность и требования безопасности, поскольку напряжение на деталях может превышать 600 В. Эти требования нужно соблюдать и после выключения осциллографа, так как конденсаторы фильтра выпрямителя, имея большую емкость, «держат» заряд длительное время после выключения. Налаживают осциллограф без измерительных приборов. Проверив правильность монтажа и его соответствие принципиальной схеме, размыкают цепь, соединяющую устройство с отрицательным полюсом выпрямителя. Для этого отпаивают соответствующий провод от точки соединения конденсатора C20 и дросселя L1, с помощью пробника убеждаются в отсутствии короткого замыкания между отрицательным и положительным выводами выпрямителя. Затем включают осциллограф, при этом появится свечение нитей накала лампы и ЭЛТ. Спустя 20...30 мин его выключают и сразу же отрезком изолированного провода с зачищенными концами замыкают каждый конденсатор фильтра (C19—C24). Разрядив конденсаторы, прикладывают руку к корпусам конденсаторов и диодов VD1—VD4, проверяя нагрев. Нагревающуюся деталь необходимо заменить. Сильный искровой разряд и нормальная температура деталей выпрямителя свидетельствуют об отсутствии в нем замыканий.

Затем восстанавливают соединение в цепи питания и вновь включают осциллограф. Резистор R1 «Усиление» устанавливают в положение, при котором движок соединен с общей шиной, переключатель SA1 переводят в положение «Пластины» (замкнуты контакты 1—5 и 2—6). Переключатель SA4 устанавливают в положение «Вход X» (замкнутые контакты 3—1), а гнездо X5 соединяют с общей шиной. Движки резисторов R10 и R11 перемещают в крайнее левое положение. Вращая регуляторы «Яркость» и «Фокусировка», получают на экране светящуюся точку. Затем проверяют действие регуляторов R10 и R11. При регулировке точка должна перемещаться в горизонтальном или вертикальном направлении на 20.. 25 мм. Далее от гнезда X5 отключают замыкающий провод, переключатель SA4 переводят в положение «Развертка» (замкнуты контакты 1—2), регулятор R21 «Частота» устанавливают в среднее положение, регулятор «Синхронизация» в такое положение, когда движок резистора R16 соединен с общей шиной, а переключатель SA3 находится в положении, при котором подключен конденсатор C14 и частота развертки составляет 20...
...200 Гц. На экране должна появиться горизонтальная линия развертки. Она может оказаться не горизонтальной. В этом случае необходимо повернуть ЭЛТ

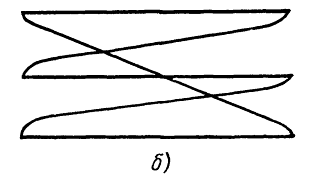
вокруг оси в ту или иную сторону, пока линия развертки не примет требуемого положения. Линия развертки должна располагаться симметрично относительно центра экрана. При необходимости ее положение можно изменять регулятором R10.

В гнездо X1 вставляют входной кабель, гнездо X7 соединяют с клеммой «Масса» (общая шина), однополюсную вилку на другом конце входного кабеля вставляют в гнездо X8. Таким образом на вход осциллографа подают переменное напряжение с частотой 50 Гц. При соответствующих положениях регуляторов «Усиление», «Частота» и «Синхронизация» получают на экране неподвижное изображение синусоиды. Осциллограмма должна иметь размер по вертикали не менее 10 ... 15 мм. По данному известному значению частоты сигнала можно определить нижнюю граничную частоту диапазона развертки. Для этого регулятором «Частота» добиваются получения двух полных периодов синусоиды. Разделив частоту сигнала (50 Гц) на число изображенных периодов синусоиды (2), получим частоту развертки 25 Гц. Иными словами, за время прямого хода напряжения развертки электронный луч успевает записать два периода напряжения с частотой 50 Гц. Если частота развертки выше частоты сигнала в целое число раз, то, наоборот, за время одного цикла синусоидального колебания луч несколько раз отклонится в горизонтальном направлении.

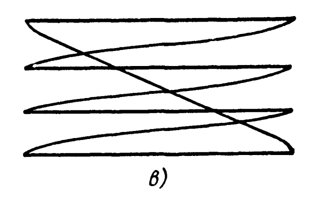
На рис. 23 показаны фигуры, получаемые на экране осциллографа, когда частота развертки выше частоты синусоидального сигнала в 2, 3 и 4 раза (рис. 23,*а—в* соответственно). Если частота сигнала 50 Гц, то частота развертки по рис. 23 определяется умножением на 50 количества горизонтальных линий. Так, для рис. 23,*а—в* она составит соответственно 100, 150 и 200 Гц. При еще большей частоте развертки определить ее с помощью сигнала частотой 50 Гц становится затруднительно, так как отдельные горизонтальные линии сливаются. В таких случаях для измерения частоты развертки необходимо использовать сигнал более высокой частоты, зная ее значение. Однако в определении границ диапазонов развертки нет особой необходимости. При указанных на принципиальной схеме номиналах резисторов R21, R22 и конденсаторов C12—C14 обеспечиваются указанные ранее диапазоны частот развертки.



а)



б)



в)

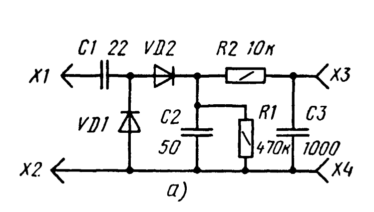
Рис. 23. Фигуры на экране осциллографа при частоте развертки выше частоты сигнала:
а — в 2 раза, *б* — в 3 раза; *в* — в 4 раза

Далее проверяют работу усилителя. Входной кабель присоединяют к гнезду X1 «Вход ~». Второй конец кабеля через дополнительный резистор сопротивлением 1 МОм подключают к гнезду X8 (гнездо X7 соединено с общей шиной). Переключатель SA1 переводят в положение «Усилитель». Регуляторами «Усиление», «Частота» и «Синхронизация» добиваются получения осциллограммы сигнала. При регулировке усиления ее вертикальный размер должен изменяться от нуля до размера, превышающего диаметр экрана. После этого гнездо X7 отсоединяют от массы и проверяют источник постоянного напряже-

ния 10 В. Переключатель SA1 переводят в положение «Пластины». Регулятором R11 линию развертки совмещают с одним из делений на шкале перед экраном. Вилку входного кабеля вставляют в гнездо X2 «Вход=». Вторую вилку кабеля вставляют в гнездо «10 В» (X9), а гнездо X10 соединяют с массой, при этом линия развертки переместится на несколько делений вверх или вниз, в зависимости от положения переключателя SA2 и регулятора «Усиление», с помощью которого устанавливают целое число делений, например пять или десять. Отсчитав число делений, на которое сместилась линия развертки, отмечаем положение на шкале, соответствующее значению напряжения 10 В. Затем к гнездам X9 и «Масса» подключаем резистор сопротивлением 1 кОм. Поскольку напряжение 10 В стабилизировано, то подключение резистора не должно оказаться на значении напряжения и местоположение линии развертки ие изменится.

В заключение проверяют цепь подачи на ЭЛТ напряжения меток. К гнезду X4 «Вход Z» с помощью соединительного кабеля подводят напряжение с частотой 100 Гц с гнезда X6. На линии развертки должны появиться чередующиеся темные и яркие участки, являющиеся метками. Частота их равна частоте пульсаций выпрямленного напряжения. Для выбранного выпрямителя частота пульсаций составляет 100 Гц. Если теперь на зажим «Вход ~» подать напряжение 6,3 В с гнезд X7, X8 (в этом случае общая шина предварительно отсоединяется от гнезда X10 и затем присоединяется к гнезду X8), то при соответствующей регулировке резисторов R1, R21, R16 можно получить на экране синусоиду с двумя метками на одном ее периоде. Поскольку частота меток 100 Гц, а на одном периоде сигнала помещаются две яркие метки, то это означает, что частота сигнала равна 100 : 2=50 Гц.

В комплект осциллографа входит высокочастотный пробник, значительно расширяющий возможности осциллографа как измерительного прибора. С помощью пробника можно установить, есть ли сигнал в высокочастотных каскадах телевизора, радиоприемника. Принципиальная схема высокочастотного пробника приведена на рис. 24,*а*. Он представляет собой детектор с удвоением напряжения. С помощью контактов X1 и X2 пробник присоединяют к источнику высокочастотного сигнала, например к усилителю радиочастоты. Через разделительный конденсатор C1 сигнал поступает на детектор на диодах VD1, VD2. В результате детектирования сигнала на резисторе нагрузки R1 выделится напряжение звуковой частоты (если высокочастотный сигнал модулирован по амплитуде) или постоянного тока, которое через резистор R2 подается на вход осциллографа. На экране осциллографа появится осциллограмма сигнала звуковой частоты или будет отмечено какое-то значение напряжения постоянного



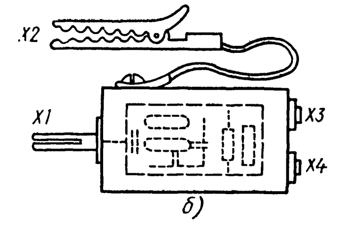


Рис. 24. Высокочастотный пробник:
а — схема; *б* — конструкция

тока. В обоих случаях с помощью пробника можно определить, работает ли проверяемый высокочастотный каскад. Конденсатор С2 обеспечивает получение большего напряжения на выходе детектора. Резистор R2 и конденсатор С3 образуют фильтр, подавляющий высокочастотные составляющие на выходе пробника.

В качестве диодов VD1 и VD2 использованы диоды типа Д9Б но можно применить любые другие высокочастотные диоды, желательно германиевые. Пробник собирают на плате из любого изоляционного материала и вставляют в корпус цилиндрической формы из пластмассы (например, в подходящую упаковку от лекарства). На донышке цилиндра с одной стороны устанавливают штырь от штепсельной вилки, с другой — гнезда для подключения к осциллографу. Вывод общей шины делают на боковой поверхности корпуса (рис. 24,*б*). Налаживать пробник не нужно.

Ранее говорилось, что при исправных деталях, правильно выполненном монтаже и его полном соответствии принципиальной схеме осциллограф начинает работать сразу. Однако те или иные неполадки в работе могут иметь место. Поэтому в табл. 2 перечислены возможные неисправности осциллографа и способы их устранения.

Работа с осциллографом. С помощью осциллографа можно измерить напряжения постоянного, переменного и импульсного тока, определять в ряде случаев частоту сигнала, измерять сопротивления резисторов и емкости конденсаторов с достаточной для радиолюбителей точностью.

Измерение напряжения постоянного тока проводят с помощью осциллографа. Для этого нужно сначала определить цену деления его шкалы. Ценой деления, как и в обычном стрелочном вольтметре, называется значение измеренного напряжения, приходящееся на одно деление шкалы. Роль стрелки в осциллографе выполняет светящаяся точка или линия развертки. Если, например, при измерении эталонного напряжения 10 В точка переместится на пять делений от исходного положения, то цена одного деления составит $10:5=$ $=2$ В. Допустим теперь, что при измерении напряжения другого источника точка переместится на 27 делений, тогда напряжение этого источника будет $27\times2=54$ В.

Измерение проводят в следующем порядке. Включают осциллограф и прогревают его несколько минут. Переключатель SA1 устанавливают в положение «Пластины», а переключатель SA4 — в положение «Вход X». Регуляторами «Яркость» и «Фокусировка» добиваются получения на экране изображения точки с наименьшим диаметром. Регулятором R11 точку устанавливают на выбранном делении шкалы, принимаемом за условный нуль. Регуляторы «Усиление» переводят в положение наибольшего усиления. Входной кабель вставляют в гнездо X2 «Вход=», второй конец кабеля подключают к гнезду X9 «10 В» (X10 соединено с массой). Под действием напряжения точка сместится по вертикали. Число делений, на которое она переместится, должно быть целым, чего добиваются регулятором «Усиление». Затем определяют цену деления шкалы. После этого можно приступить к измерениям. Низкопотенциальный вывод источника напряжения, значение которого требуется определить, подключают к общей шине осциллографа. Входной кабель присоединяют к высокопотенциальному выводу источника. При этом точка переместится в новое положение. Отсчитав число делений и умножив его на цену деления шкалы, находят искомое значение напряжения. Если при измерении точка перемести-

Таблица 2. **Возможные неисправности осциллографа и способы их устранения**

Неисправность	Меры по устранению неисправности
Есть накал у ЭЛТ и лампы. Экран не светится	Включить и сразу (пока не разогрелись нити накала) выключить осциллограф. Проверить выпрямитель «на искру», прикасаясь проводом от общей шины к точкам соединения элементов C24, R34, L2. При отсутствии искры — неисправность в выпрямителе. При выключенном осциллографе проверить пробником отсутствие короткого замыкания между общей шиной и отрицательным полюсом выпрямителя, отсутствие обрыва цепи, соединяющей выход выпрямителя с ЭЛТ. Вставив в гнездо X3 один конец соединительного провода, включают и сразу же выключают осциллограф и касаются другим концом провода точки соединения резисторов R26 и R27. Отсутствие сильной искры (разряда конденсаторов фильтра) указывает на обрыв в цепи. Если искра есть, нужно установить движки резисторов R10 и R11 в крайнее левое (по принципиальной схеме) положение, перевести переключатель SA1 в положение «Пластины», а SA4 — «Вход X». Движок резистора R1 следует перевести в нижнее по схеме положение, а гнездо X5 соединить с общей шиной. Включить осциллограф и, регулируя резисторы R20 и R23, прикрыв экран от падающего света, проверить, нет ли хотя бы слабого свечения экрана. Обнаружив его, выяснить, при каком положении движка резистора R20 это имеет место. Если движок находится в крайнем левом положении, необходимо поменять местами резисторы R19 и R20
На экране имеется яркая точка. Нет линии развертки при любом положении переключателей SA3, SA4 и резистора R21	Проверить исправность резистора R21 и конденсатора C9. Отрезком провода, соединенным с общей шиной, проверить при включенном осциллографе наличие напряжения (по искре) на аноде и катоде триода 6Ф4П. Возможно неправильное включение концов первичной или вторичной обмотки трансформатора T1. Заменить лампу
На экране есть линия развертки, однако при подаче на вход переменного напряжения 6,3 В линия развертки остается неподвижной	Проверить пробником отсутствие обрыва в соединительных цепях от гнезда X2, переключателя SA1 до управляющей сетки пентода 6Ф4П, а также цепь от переключателя SA2 до ЭЛТ. Прозвонить конденсаторы C1 и C2

лась вниз, можно изменить направление ее движения с помощью переключателя «Полярность» SA2.

Измерение напряжения переменного тока, превышающего по амплитуде 5 В, проводят в том же порядке, что и постоянного. При меньших значениях напряжения используют усилитель, для чего переключатель SA1 переводят в соответствующее положение. В качестве эталонного в этом случае берут напряжение переменного тока 6,3 В, снимаемое с гнезд X7, X8. Гнездо X8 соединяют с общей шиной, отсоединив общую шину от гнезда X10. Входной

кабель подключают к гнезду X8, и на экране вместо точки появляется вертикальная линия, по длине которой определяют значение измеряемого напряжения. Следует иметь в виду, что линия является результатом действия на пластины Y напржения размаха, равного примерно 18 В ($6{,}3\times2{,}8=17{,}7$). Однако эта линия пропорциональна также и действующему напряжению, т. е. 6,3 В. Исходя из этого определяется цена деления шкалы. Если с помощью регулятора «Усиление» установить длину линии, равной примерно 6,3 делений, то цена деления составит 1 В действующего напряжения U. Пользуясь ею, можно измерить действующее напряжение переменного тока при синусоидальной форме напряжения.

Измерение импульсного напряжения П-образной формы, пилообразной и пр. производят так же, как напряжения синусоидальной формы. Однако в этом случае в качестве эталонного напряжения для определения цены деления шкалы принимается максимальное значение синусоидального напряжения 1,41 U, равное 8,8 В. Это значение можно округлить до 9 В, если не требуется большая точность измерения.

Измерение частоты переменного тока проводят путем сравнения сигналов двух частот: неизвестной, подлежащей определению, и известной, эталонной, частоты. Поэтому для измерения необходим источник переменного тока, частоту которого можно изменять в определенных пределах. Сигнал с неизвестной частотой подают на вход осциллографа «Вход =» или Вход ~», в зависимости от напряжения сигнала. Изменяя частоту развертки, получают на экране изображение одного-двух полных периодов напряжения неизвестной частоты. Далее на гнездо X4 подают сигнал от генератора с известной частотой, например 2 кГц. Поступая на модулятор ЭЛТ, этот сигнал воздействует на электронный поток, интенсивность которого начинает изменяться в такт с частотой сигнала, и на линии развертки появляются метки. Если на одном периоде сигнала с неизвестной частотой «укладывается» десять ярких точек, то это значит, что измеряемый сигнал имеет в 10 раз меньшую частоту, т. е. 200 Гц.

В качестве генератора с известной частотой можно использовать описываемый в последующих разделах генератор сигнала. При измерении частоты до 400...500 Гц в качестве сигнала меток можно использовать пульсирующее напряжение, снимаемое с гнезда X10 «100 Гц». Если частота меток ниже частоты сигнала, то значение частоты сигнала можно определить по числу периодов сигнала, умещающихся между соседними метками. Измерить частоту можно и следующим способом: переключатель SA4 перевести в положение «Вход X», а на гнездо X5 подать сигнал с неизвестной частотой. На вход осциллографа, как и в предыдущем случае, подается сигнал от генератора с эталонной частотой. При взаимодействии сигналов на экране появится изображение различных фигур. Изменяя частоту генератора с эталонной частотой, следят за изображением на экране. Если сигналы синусоидальные, то при равенстве частот на экране в зависимости от фазы колебаний изобразится либо наклонная линия, либо эллипс, либо окружность. При частоте генератора, в 2 раза меньшей, чем измеряемая, изобразится фигура, напоминающая восьмерку. Этот метод определения частоты называют методом Лисажу, а получающиеся фигуры — фигурами. Лисажу. Для измерений по фигурам Лисажу необходим генератор с перестраиваемой в широких пределах частотой.

Измерение сопротивления резисторов и емкости конденсаторов выполняют с помощью так называемого мостового устройства, где осциллограф служит индикатором нуля. Подробно об этом говорится далее.

2.2. Генератор звуковой частоты

Генератор звуковой частоты (рис. 25,*а*) используется в качестве источника фиксированных звуковых частот около 1 и 10 кГц. Генератор состоит из усилительного каскада на транзисторе VT1, выход которого соединяется со входом через цепи R1—R3, C1—C3 и R4—R6, C4—C6. Цепи включаются с помощью переключателя SA1. Номиналы деталей, входящих в цепи, выбраны таким образом, что в схеме возникают синусоидальные колебания, частота которых определяется данными R и C. При замкнутых контактах 1—5 и 2—6 частота ГЗЧ 1 кГц, при замыкании контактов 1—3 и 2—4 частота 10 кГц. Резистор R9 является резистором нагрузки. Он же используется в качестве регулятора выходного сигнала ЗЧ. Конденсатор C8 — разделительный.

К гнезду X2 подключается потребитель. В генераторе используется транзистор типа МП13, вместо которого можно применить любой маломощный транзистор, предназначенный для усиления напряжения звуковой частоты. При замене транзистора может потребоваться подбор резистора R8. С его же помощью можно изменять в некоторых пределах частоту ГЗЧ.

В качестве переключателя SA1 применяют любой двухполюсный переключатель. Для питания генератора требуется напряжение около 10 В, в качестве

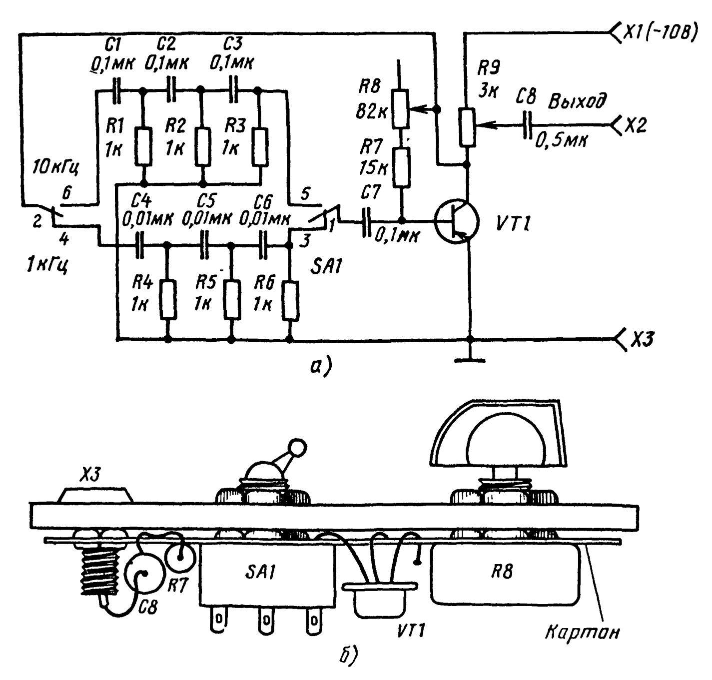


Рис. 25. Генератор звуковой частоты:
а — схема; *б* — конструкция

источника можно использовать напряжение, имеющееся в осциллографе, либо батарею «Крона». Тогда гнезда X1, X3 не потребуются, однако в этом случае необходим выключатель питания.

Генератор собирают на плате из прессшпана (рис. 25,*б*). Монтаж осуществляют простейшим способом: в плате вырезают отверстия для переменных резисторов R8, R9, гнезд X1—X3 и переключателя SA1. Для постоянных резисторов и конденсаторов прокалывают отверстия, в которые вставляют выводы этих деталей. Загнув выводы с противоположной стороны, их соединяют между собой в соответствии с принципиальной схемой. Смонтированную плату прикрепляют к панели ГЗЧ, причем для крепления используют переменный резистор, гнезда и переключатель (рис. 25,*б*). На панели при необходимости устанавливают выключатель питания. Панель помещают в корпус, боковые стенки которого изготовлены из деревянных планок, а дно — из плотного картона.

Проверку работоспособности генератора осуществляют с помощью осциллографа, подготовленного для измерения переменного тока Входной кабель («Вход ~») присоединяют к гнезду X2 генератора. Массы приборов объединяют. Осциллограф включают и прогревают. Получив на экране линию развертки, подают напряжение питания на генератор. Регулируя резистор R9 ГЗЧ («Выход») и регулятор «Усиление» осциллографа, устанавливают размер осциллограммы, удобный для наблюдения (30 ... 40 мм). Регуляторами «Частота» и «Синхронизация» и переключателем SA3 добиваются получения на экране нескольких периодов сигнала ГЗЧ. Осциллограмма должна появляться при обоих положениях переключателя SA1 частоты ГЗЧ. Генератор начинает работать сразу же после включения. В случае отсутствия сигнала подбирается положение резистора R8, заменяется транзистор VT1 заведомо исправным.

2.3. Генератор импульсов

Генератор импульсов (ГИ, рис 26) вырабатывает напряжение П-образной формы с частотой повторения импульсов около 300 Гц и амплитудой до 3 В. Он собран на двух транзисторах по схеме мультивибратора и представляет собой двухкаскадный усилитель, выход которого связан со входом.

В отличие от описанного ГЗЧ, в данном случае соединение выхода со входом приводит к возникновению в генераторе прерывистых, импульсных колебаний. Резисторы R1 и R5 являются резисторами нагрузки транзисторов VT1 и VT2. Конденсаторы C1 и C2 совместно с резисторами R2—R4 образуют цепи, с помощью которых формируется импульсное напряжение заданной частоты. При приведенных на схеме номиналах элементов обеспечивается П-образная форма колебаний. Ее можно изменять переменным резистором R3, при этом в незначительных пределах изменяется частота импульсов. Выходное напряжение регулируют переменным резистором R5. Конденсатор C3 — разделительный. Так как выходное сопротивление ГИ невелико, к гнездам X2, X3 можно подключать нагрузку с относительно малым сопротивлением Для питания генератора тре-

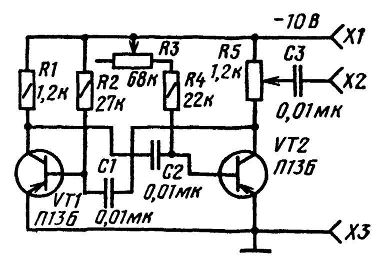


Рис. 26. Принципиальная схема генератора импульсов

буется напряжение около 10 В, поэтому используют тот же источник, что для ГЗЧ.

Вместо транзисторов типа П13 можно применить любые другие из числа маломощных транзисторов структуры p-n-p. Генератор импульсов собирают на плате из прессшпана, как и ГЗЧ. Плату прикрепляют к панели способом, показанным на рис. 25,*б*, и устанавливают в корпусе, аналогичном корпусу ГЗЧ. Генератор не требует какого-то налаживания и при исправных деталях начинает работать сразу же после подачи питающего напряжения. Проверку ГИ осуществляют, подав П-образное напряжение на осциллограф. Порядок здесь такой же, как при проверке ГЗЧ. Отсутствие сигнала на выходе генератора может быть вызвано неисправностью деталей или транзисторов.

2.4. Генератор высокой частоты

Генератор высокой частоты (ГВЧ, рис. 27) является источником высокочастотных синусоидальных колебаний. Их частоту изменяют с помощью переменного конденсатора C4 в пределах от 100 до 550 кГц. Выходное напряжение регулируется в пределах 0...2 В.

Транзистор VT1 включен по схеме с емкостной обратной связью, которая осуществляется через конденсатор C3. В цепи коллектора транзистора находится колебательный контур, состоящий из катушки L и конденсатора переменной емкости C4. Резисторы R1, R2, R4 включены для обеспечения необходимого режима работы транзистора по постоянному току. Для подгонки режима используют подстроечный резистор R1. Напряжение высокой частоты снимается с движка переменного резистора R5, используемого в качестве регулятора выходного напряжения генератора. Конденсатор C6 — разделительный. Если сопротивление подключаемой к ГВЧ цепи превышает 20...30 кОм (ламповый каскад), то выходное напряжение снимается через разделительный конденсатор C5 с гнезда X4.

Генератор можно использовать в режиме с амплитудной модуляцией. Модулирующее напряжение звуковой частоты подают на гнездо X1 и через разделительный конденсатор C1 — на базу транзистора. Модулирующее напряжение изменяет с частотой модуляции режим транзистора и соответственно амплитуду высокочастотных колебаний. Источник модулирующего напряжения должен иметь регулятор уровня выходного сигнала для подбора глубины модуляции. В качестве источника модулирующего сигнала можно использовать описанный ранее ГЗЧ.

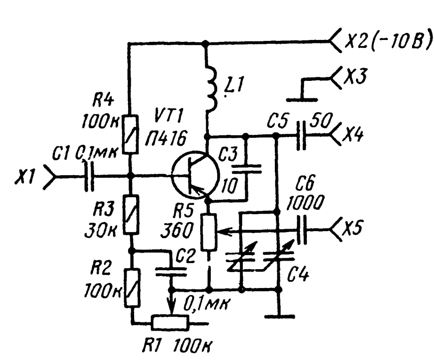


Рис. 27. Принципиальная схема генератора высокой частоты

Генератор питается от источника напряжения —10 В.

Катушка L1 намотана на каркасе диаметром 8 и длиной 25 мм и содержит 80 витков провода ПЭВ-0,1, намотанных внавал. Ширина намотки 10 мм. Концы катушки закрепляют на каркасе с помощью липкой ленты. В качестве переменного конденсатора C4 использован мало-

габаритный сдвоенный блок переменных конденсаторов с воздушным диэлектриком с наибольшей емкостью 350 пФ, имеющий ось с замедлением вращения, т. е. с верньерным механизмом. Можно использовать любой переменный конденсатор с подходящей емкостью, желательно с воздушным диэлектриком. Вместо транзисторов П416 можно применить любой высокочастотный транзистор структуры р-п-р. При замене транзистора, возможно, потребуется регулировка резистора R1.

Генератор собирают на плате из картона, закрепляемой после сборки на панели, как и ГЗЧ. Панель размещают в корпусе, подобном по конструкции корпусу ГЗЧ. На панели устанавливают шкалу с делениями (180°), на оси блока конденсаторов переменной емкости укрепляют стрелку.

Генератор высокой частоты является источником сигналов высокой частоты, используемым для проверки прохождения сигналов через высокочастотные цепи радиоприемников, в процессе которой зачастую не обязательно знать точное значение частоты сигнала. Для проверки генератора используют осциллограф, подготовленный для измерения переменного напряжения. Переключатель SA1 переводят в положение «Пластины». Гнездо «Вход ~» осциллографа присоединяют к выходу ГВЧ (гнездо X4 или X5). Переключатель SA3 осциллографа устанавливают в положение, соответствующее наивысшей частоте развертки, регулятор «Усиление» — в положение наибольшего усиления, конденсатор C4 в ГВЧ — на наибольшую емкость. Подбирая резистор R1 в ГВЧ, получают на экране горизонтальную полосу высотой 10...15 мм, что свидетельствует о наличии колебаний в генераторе. Регуляторами «Частота» и «Синхронизация» осциллографа добиваются получения 10—15 периодов синусоидального колебания на экране. При уменьшении емкости конденсатора C4 число периодов должно увеличиваться.

Далее проверяют работу генератора в режиме, модуляции. Для этого используют ГЗЧ. Напряжение с выхода ГЗЧ подают на гнездо X1 ГВЧ. На экране осциллографа должно появиться изображение амплитудно-модулированных колебаний. Изменяя уровень сигнала звуковой частоты, можно изменять глубину модуляции. Коэффициент модуляции M можно измерить, используя деления на шкале осциллографа. Для этого подсчитывают число делений от верхнего максимума до нижнего (А) и от верхнего минимума до нижнего (Б). Коэффициент модуляции будет

$$M = \frac{А — Б}{А + Б} \cdot 100\%.$$

Для питания генератора используют источник напряжения —10 В осциллографа или батарею примерно с таким же напряжением. При исправных деталях и правильной сборке генератор начинает работать сразу же после подачи питающего напряжения. При отсутствии генерации следует вместо резистора R4 установить резистор с номиналом 51 кОм и регулировкой резистора R1 добиться нормальной работы. В противном случае необходимо заменить транзистор и вновь подобрать режим с помощью резистора R1.

2.5. Измеритель сопротивлений и емкостей

Необходимость в измерении сопротивлений резисторов или емкости конденсаторов возникает у радиолюбителя весьма часто. В то же время измерять индуктивность трансформаторов и других намоточных изделий приходит-

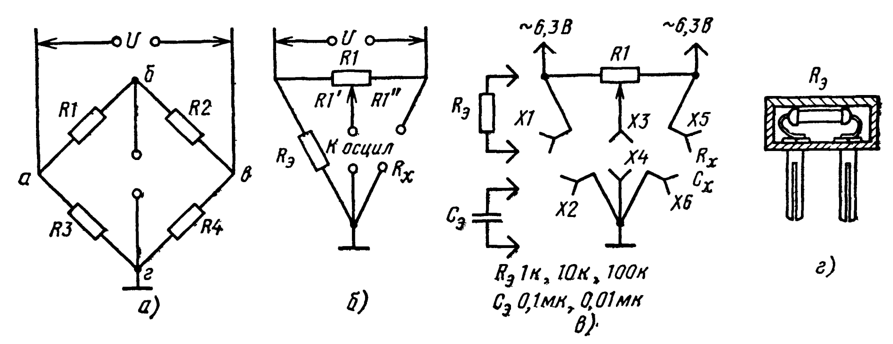


Рис. 28. Принципиальная схема моста для измерения сопротивлений и емкости: *а* — функциональная схема; *б* — мост с переменным резистором; *в* — практическая схема моста; *г* — вилка

ся крайне редко. Поэтому описываемое устройство рассчитано для измерения только сопротивления резисторов и емкости конденсаторов мостовыми устройствами.

Схема моста для измерения сопротивлений в общем виде приведена на рис. 28,*а*. Здесь резисторы R1—R4 образуют плечи, а линия а—в и б—г— диагонали моста. К диагонали а—в подводится переменное напряжение U; к диагонали б—г присоединяют индикатор, роль которого в нашем случае выполняет осциллограф. Если изменять сопротивления плеч, то можно добиться такого положения, при котором в диагонали б—г напряжение станет равным нулю, несмотря на то, что в диагональ а—в подано напряжение U. Между точками б—г не будет напряжения только в том случае, если падение напряжения на участке а—б будет равно падению напряжения на участке а—г падение напряжения на участке б—в будет равно падению напряжения на участке в—г. В этом случае мост будет сбалансирован.

Момент баланса определителя по нулевым показаниям осциллографа. Такое положение будет иметь место при равенстве отношений R1/R3 и R2/R4. Если в трех плечах включены резисторы с известными сопротивлениями, то сопротивление четвертого резистора, например R_x, установленного вместо R4, можно определить при достижении баланса по формуле $R_x = R3(R2/R1)$. Установив вместо двух резисторов R1 и R2 переменный резистор R1 (рис. 28,*б*) с сопротивлением, равным сумме сопротивлений двух резисторов, а вместо R3 — резистор с известным сопротивлением (эталонный резистор), можно определить неизвестное сопротивление резистора R_x, когда при регулировке переменного резистора R1 напряжение в диагонали б—г спадет до нуля. Частное от деления сопротивлений плеч переменного резистора, умноженное на сопротивление эталонного резистора, и даст искомый результат — сопротивление резистора R_x. Если переменный резистор снабдить шкалой, то процесс измерения сведется к определению момента баланса при регулировке переменного резистора и нахождению на заранее отградуированной шкале искомого результата. Если вместо эталонного резистора установить конденсатор с известной емкостью $C_э$, то можно будет измерять емкость конденсаторов. Сопротивление переменного резистора R1 не критично, так как при измерении учитывается не оно, а отношение сопротивлений его участков (плеч R'1, R''2, рис. 28,*б*).

Практическая схема моста для измерения сопротивлений и емкостей приведена на рис. 28,*в*. Она дает возможность измерять сопротивление резисторов в пределах 50 ... 40 000 Ом (при эталонном резисторе 1 кОм), 500 ... 400 000 Ом (10 кОм), 5 кОм ... 4 МОм (100 кОм) и емкость конденсаторов в пределах 1000 пФ ... 0,5 мкФ и 0,01 ... 5 мкФ (при эталонных конденсаторах емкостью 0,01 и 0,1 мкФ соответственно). Наибольшая точность измерений, как и у всякого мостового устройства, получается при среднем положении движка переменного резистора R1. Деления на шкале распределяются нелинейно, но это не имеет существенного значения. Резисторы R2—R4 и конденсаторы C1, C2, устанавливают в качестве эталонных в гнезде X1 и X2, а подлежащий измерению резистор или конденсатор присоединяют к гнездам X5, X6.

Мост собирают на плате, укрепляемой на панели и устанавливаемой в подходящий корпус. В качестве переменного резистора R1 использован резистор с линейной характеристикой (тип А). Все резисторы, а также конденсаторы могут иметь отклонения от номиналов, обозначенных на схеме. Однако, не влияя на точность измерений, это приведет к смещению пределов измерения в ту или другую сторону. Осциллограф присоединяют к гнездам X3, X4.

На панели размещают один переменный резистор и шесть гнезд. Эталонный резистор (или конденсатор) устанавливают в корпус штепсельной вилки (рис. 28,*г*). В качестве корпуса можно использовать часть флакона цилиндрической формы из синтетического материала (упаковка от лекарства, детали детской игрушки и т. д.). В донышке флакона устанавливают два штыря от штепсельной вилки. Выводы резистора (конденсатора) закрепляют с помощью гаек. Сверху корпус закрывают крышкой, на которой указывается номинал детали (1 к, 10 к и т. д.).

При желании в конструкции можно установить переключатель на пять положений и с его помощью переключать эталонные резисторы и конденсаторы. Определенное внимание нужно уделить изготовлению шкалы. Из плотной бумаги делают две одинаковые по размерам шкалы: первую используют при градуировке, а на вторую, чистовую, наносят окончательные сопротивления и емкости. К ручке, надеваемой на ось резистора R1, прикрепляют пластину из органического стекла с нанесенными на нее двумя продольными рисками. Для исключения параллакса при отсчете риски должны быть сделаны с обеих сторон пластины одна под другой. Для большой заметности в риску втирают черную пасту, например от шариковой ручки, или черный пластилин. Шкалу фиксируют на плате с помощью крепежной гайки резистора R1.

Прежде чем приступить к измерениям, необходимо отградуировать мост с помощью магазина сопротивлений от 50 Ом до 4 МОм и эталонных конденсаторов. В крайнем случае градуировку можно осуществить с помощью набора возможно более точных резисторов и конденсаторов. Чем большее число этих деталей будет использовано при градуировке, тем более «полной» будет шкала измерителя.

Градуировку выполняют в следующем порядке. С гнездами X3, X4 соединяют «Вход ~» и гнездо «Общая шина» осциллографа. Его переключатель SA1 переводят в положение «Усилитель», регулятор «Усиление» — в среднее положение, а переключатель SA4 — в положение «Вход X». К мосту подводят напряжение 6,3 В от осциллографа. Включив и прогрев осциллограф, устанавливают в гнезда X1, X2 моста эталонный резистор сопротивлением

1 кОм. В гнезда X5, X6 помещают используемый для градуировки резистор сопротивлением 50 Ом. Поскольку генератор развертки осциллографа отключен, то на экране вместо горизонтальной линии развертки будет вертикальная. Момент баланса моста определяют по резкому уменьшению длины линии при вращении ручки резистора R1 моста. Для более точной балансировки усиление увеличивают. Убедившись в балансировке моста, на шкале отмечают соответствующее деление (50 Ом). Далее в те же гнезда устанавливают следующий резистор в порядке возрастания значений, например 75 Ом, и повторяют с ним процесс градуировки. Таким образом на шкалу наносят сопротивления для одного предела измерений. Затем в гнезда X1, X2 устанавливают эталонный резистор 10 кОм и градуируют мост для второго предела измерений, затем 100 кОм для третьего и, наконец, установив в те же зажимы эталонные конденсаторы 0,01 и 0,1 мкФ, завершают градуировку прибора. Теперь данные, записанные при градуировке на черновой шкале, аккуратно переносят на чистовую, после чего прибор можно эксплуатировать. Измерения проводят так же, как проводили градуировку.

Глава 3
ПРОВЕРКА РАДИОСХЕМ

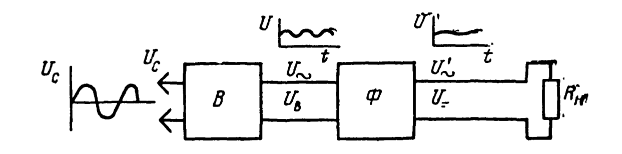
Изготовив приборы, радиолюбителю следует научиться правильно их применять, начав с измерений в простейших узлах, используемых в любой радиоэлектронной аппаратуре, например в выпрямителях, однокаскадных усилителях звуковой и радиочастоты, детекторах и пр. Макет узла, учитывая его назначение, собирают на куске картона без соблюдения каких-либо особых правил монтажа. Необходимо лишь придерживаться номиналов деталей, указанных на принципиальной схеме. Следует иметь в виду, что если установка «не того» резистора как правило, не представляет опасности для лампового устройства, то в транзисторном каскаде это может привести к выходу из строя транзистора или возрастанию зависимости параметров радиодеталей от температуры окружающей среды, т. е. к нарушению стабильности работы каскада. Что касается конденсаторов, то отклонение их емкости от номинала в широких пределах вполне допустимо как в ламповых, так и в транзисторных схемах, за исключением тех случаев, когда конденсаторы используются в качестве элементов настройки или для формирования частотной характеристики.

3.1. Выпрямитель

Назначение выпрямителя в радиоустройстве — преобразовать напряжение переменного тока, имеющееся в электросети (или другом источнике) в напряжение постоянного тока, необходимое для питания радиоаппарата. Функциональная схема выпрямителя показана на рис. 29.

На вход выпрямителя В поступает переменное напряжение сигнала $U_с$, подлежащее выпрямлению. Выпрямленное напряжение $U_в$ на выходе содержит переменную составляющую, или пульсации. Чтобы из выпрямленного напряжения получить напряжение постоянного тока, пульсации необходимо ус-

Рис. 29. Функциональная схема выпрямителя



транить. Для этого на выходе выпрямителя устанавливают сглаживающий фильтр Ф, элементы которого оказывают разное сопротивление переменному и постоянному току. В результате на выходе фильтра получается напряжение $U_=$ практически постоянного тока.

Для определения уровня пульсаций определяют коэффициент пульсаций P_0 на выходе выпрямителя: $P_0=U_\sim/U_в$, где $U_\sim$ и $U_в$ — соответственно напряжение пульсаций и постоянное напряжение на выходе выпрямителя. Коэффициент пульсаций на выходе фильтра $P=U_\sim/U_=$, где $U_\sim$ и $U_=$ — напряжение пульсаций и постоянное напряжение на выходе фильтра. Чем меньше коэффициент P, тем лучше выпрямлено напряжение. К примеру, значение P для сетевых радиоприемников, высококачественных усилителей звуковой частоты и других подобных устройств не должно превышать 0,001 ... 0,005.

Сглаживающие свойства фильтра оценивают коэффициентом сглаживания $к_с$, показывающим, во сколько раз коэффициент пульсаций P на выходе фильтра меньше коэффициента пульсаций P_0 на его входе, т. е. на выходе выпрямителя: $к_с=P_0/P$. В отдельных случаях для повышения $к_с$ применяют двухзвенный фильтр, т. е. к имеющемуся фильтру добавляют еще одну ячейку, состоящую из дросселя и конденсатора. В этом случае общий коэффициент сглаживания будет равен произведению коэффициентов $к_с$ каждого фильтра.

Принципиальные схемы выпрямителей выбираются как по техническим показателям (необходимые значения напряжения, тока, мощности), так и по экономическим соображениям (стоимость радио- и прочих деталей). В массовой радиоэлектронной аппаратуре широко используют однополупериодные и двухполупериодные выпрямители, мостовые, а также выпрямители с умножением напряжения.

Рассмотрим практические схемы выпрямителей с трансформатором. В качестве трансформатора используем выходной трансформатор кадровой развертки (ТВК) от унифицированных черно-белых телевизоров «Рубин», «Темп» и т. д. Можно применить также выходной трансформатор звука от любого лампового телевизора или радиоприемника. Если на обмотку с меньшим числом витков (назовем ее первичной) подать переменное напряжение 6,3, взятое от осциллографа (гнезда X8, X9), то на концах обмотки с большим числом витков (вторичной) появится напряжение 40 ... 60 В. Использование при экспериментах с выпрямителями этого относительно небольшого напряжения удобно с точки зрения техники безопасности. Во всех фильтрах используется дроссель от любого лампового радиоприемника. Иногда, однако, более выгодно установить вместо дросселя резистор сопротивлением 400 ... 500 Ом, мощностью 2 Вт.

Для оценки различных схем выпрямления, проверяемых радиолюбителем, целесообразно составить таблицу сравнительных данных. В таблице следует записать характерные параметры выпрямителей, например отношение переменного напряжения, подлежащего выпрямлению, к постоянному напряжению на выходе фильтра. Представляют интерес и частота пульсаций в различных

выпрямителях, коэффициент пульсаций на входе и на выходе фильтра, общее число радиодеталей в различных выпрямителях с фильтром. По данным таблицы можно будет выбрать вариант выпрямителя для того или иного радиоустройства, конструируемого радиолюбителем.

Однополупериодная схема. На рис. 30,*а* изображена принципиальная схема однополупериодного выпрямителя с фильтром. Напряжение со вторичной обмотки трансформатора T1 через резистор R1 поступает на диод VD1. Выпрямленное напряжение $U_в$ выделяется на конденсаторе C1. Для сглаживания пульсаций используется фильтр, состоящий из дросселя L1 и конденсатора C2. К выходу фильтра подключен резистор нагрузки R2. Резистор R1, называемый балластным (5 ... 10 Ом), устанавливается иногда для ограничения импульса тока, проходящего через диод в момент включения выпрямителя. При отсутствии резистора возможен пробой диода VD1 первым же большим импульсом тока. В рассматриваемом случае установка этого резистора необязательна, так как в выпрямителях с небольшим выпрямленным напряжением импульсный ток через диод достаточно ограничен сопротивлением обмотки трансформатора. Балластное сопротивление не требуется и при использовании в выпрямителе селеновых столбов, поскольку их внутреннее сопротивление достаточно велико, что снижает импульс тока.

Выпрямитель работает следующим образом. Под действием положительных полуволн переменного напряжения вторичной обмотки трансформатора T1 через диод VD1 проходит пульсирующий ток. Конденсатор C1, заряжаясь импульсами тока, накапливает электрическую энергию. На нем растет выпрямленное напряжение $U_в$. Поскольку емкость конденсатора велика, он не успевает разрядиться за время между импульсами тока, и поэтому напряжение на конденсаторе при отсутствии нагрузки достигает максимального значения переменного напряжения, имеющегося на вторичной обмотке, и сохраняется на этом уровне, пока выпрямитель включен. Несмотря на импульсный характер тока, проходящего через диод, напряжение на выходе выпрямителя благодаря

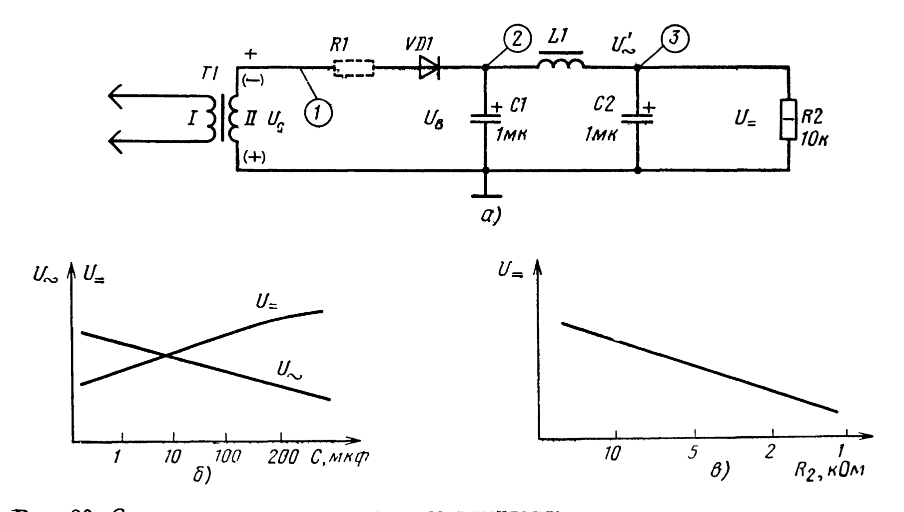


Рис. 30 Схема однополупериодного выпрямителя:

а — принципиальная схема; *б* — зависимость выходных напряжений от емкости конденсаторов фильтра; *в* — нагрузочная характеристика

накопительному действию конденсатора C1, оказывается не импульсным, а сглаженным. Оставшиеся пульсации выпрямленного напряжения подавляются дросселем L и конденсатором C2. Сопротивление дросселя переменному току (пульсациям) значительно (обычно 1 ... 10 кОм), в то же время для постоянной составляющей выпрямленного тока (для постоянного тока) его сопротивление оказывается в 10 ... 20 раз меньшим. Таким образом, пульсации после дросселя будут сильно ослаблены, тогда как постоянная составляющая пройдет через дроссель без заметного ослабления. Конденсатор C2, наоборот, представляет собой почти нулевое сопротивление для пульсаций. Поэтому на конденсаторе C2 пульсации практически полностью отсутствуют и на выходе фильтра имеется только напряжение постоянного тока.

Как уже говорилось, диод VD1 пропускает ток только при положительной полуволне напряжения на верхнем по схеме конце обмотки II. При отрицательной полуволне диод не может пропускать ток, однако в этот момент к его выводам будет приложено напряжение, равное сумме напряжения на конденсаторе C1 и максимального значения напряжения обмотки II. Это напряжение, различное для разных выпрямлений, называется обратным напряжением диода. Оно обычно превышает напряжение на вторичной обмотке трансформатора, что должно быть учтено при выборе диода. Допустимое обратное напряжение указывается в паспорте, прилагаемом к диоду. В однополупериодном выпрямителе обратное напряжение почти в 3 раза превышает выпрямленное. Поэтому в качестве диода VD1 можно использовать выпрямительный диод с обратным напряжением не менее 150 В. При токах нагрузки, не превышающих 5 ... 10 мА, вместо дросселя можно применять резистор сопротивлением от 500 Ом до 5 ... 10 кОм. Такой фильтр значительно дешевле, чем с катушкой индуктивности, меньше он и по размерам. Выпрямитель проверяют в следующем порядке. К выводам первичной обмотки трансформатора T1 от гнезд X7 и X8 осциллографа подводится переменное напряжение 6,3 В. Осциллограф подготавливают для измерения напряжения переменного тока. Измеряют напряжение U_c на вторичной обмотке (точка 1). Затем определяют напряжение пульсаций U на конденсаторе C1 (точка 2). После этого измеряют выпрямленное напряжение на конденсаторе C1. Для этого переключатель SA1 переводят в положение «Пластины», а измеряемое напряжение подают на гнездо X2. Поскольку на конденсаторе имеются и переменное и постоянное напряжения, то измерение постоянного напряжения выполняют следующим образом. Переключатель SA4 переводят в положение «Вход X». На экране будет вертикальная линия, поскольку переменная составляющая напряжения на конденсаторе C1 отклоняет вверх и вниз луч ЭЛТ. Отключив входной кабель от конденсатора, устанавливают точку на экране на деление, принимаемое за ноль. Затем входной кабель присоединяют к конденсатору C1. На экране появляется вертикальная линия, центр которой отмечают на шкале. Подсчитав число делений между центром линии и нулевым делением и зная цену одного деления, определенную заранее, находят значение постоянного напряжения $U_в$ на конденсаторе C1.

Затем подсчитывают коэффициент пульсаций P_0 на выходе выпрямителя (на конденсаторе C1), измеряют напряжение пульсаций U' и выпрямленное напряжение $U_=$ (точка 3) на выходе фильтра, определяют коэффициент пульсаций P_0 на конденсаторе C2, коэффициент сглаживания K и отношение $U_c/U_=$. После этого увеличивают последовательно в 10, 100 и 200 раз емкость

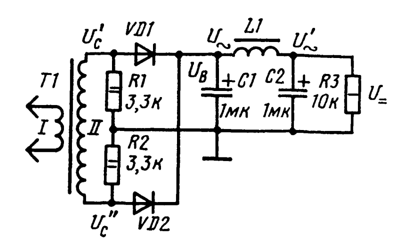
сначала конденсатора С1, а затем С2. Для каждого значения определяют напряжение пульсаций, выпрямленное напряжение, коэффициент пульсаций на выходе фильтра и т. д. По полученным данным строят график (рис. 30,*б*), из которого определяют оптимальную емкость конденсаторов С1 и С2, т. е. те значения, дальнейшее увеличение которых, не сказываясь на выходном напряжении, приведет к необходимости устанавливать в фильтре более дорогие конденсаторы, что технически и экономически неоправданно. Устанавливая в фильтре конденсаторы с оптимальной емкостью, снимают нагрузочную характеристику выпрямителя, т. е. зависимость напряжения постоянного тока и коэффициента пульсаций на выходе фильтра от сопротивления нагрузки R2. Нагрузки уменьшают до 1, 2 и 5 кОм (все резисторы мощностью 2 Вт). Для каждого случая измеряют $U_{=}$, подсчитывают ток I (мА), потребляемый нагрузкой, по формуле $I=1000 \cdot U_{=}/R2$, коэффициент пульсаций P_0. По полученным данным строят график, подобный изображенному на рис. 30,*в*, показывающий, как изменяется напряжение на выходе выпрямителя при изменении сопротивления нагрузки.

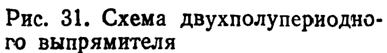
В заключение измеряют частоту пульсаций на входе фильтра. На вход осциллографа (гнездо X1) подают пульсирующее напряжение с точки 2. На гнездо X4 с гнезда X10 подается напряжение частотой 100 Гц. На экране появятся яркие метки с частотой 100 Гц. На один период кривой пульсирующего напряжения придется две метки, т. е. частота пульсаций будет 100 : 2=50 Гц. Результаты исследований однополупериодного выпрямителя заносят в сравнительную таблицу.

Двухполупериодный выпрямитель (рис. 31). Если в однополупериодном выпрямителе используется один полупериод переменного напряжения, то в данном выпрямителе, как показывает название, оба периода переменного напряжения.

Чтобы собрать выпрямитель, необходим трансформатор с отводом от середины вторичной обмотки, что, кстати, можно отнести к недостаткам устройства. В данном случае этот отвод (средняя точка) создается искусственно с помощью резистора R1, R2 с одинаковыми сопротивлениями, на которых выделяются равные по амплитуде, но противоположные по фазе переменные напряжения U'_c, U''_c. Поэтому переменные напряжения на диоды VD1, VD2 поступают в противофазе и токи через них, заряжающие конденсатор С1, протекают не одновременно, а попеременно, когда положительная полуволна напряжения обмотки оказывается приложенной к тому или другому диоду. Сказанное ранее об обратном напряжении диодов справедливо и для двухполупериодного выпрямителя. Здесь можно использовать выпрямительные диоды с обратным напряжением не менее 150 В.

Порядок проверки выпрямителя следующий. На первичную обмотку трансформатора Т1 подают переменное напряжение 6,3 В от осциллографа, подготовленного для измерения переменного напряжения. Измеряют напряжения на верхнем и нижнем выводах вторичной обмотки Т1, которые должны быть одинаковы по отношению к общей шине. Если эти напряжения заметно отличаются друг от друга, то для их выравнивания следует подобрать один из резисторов, причем не имеет значения какой. Затем измеряют напряжение пульсаций $U_{\sim}$ на конденсаторе С1 и выпрямленное напряжение $U_в$ описанным ранее способом и находят коэффициент пульсаций.




Рис. 31. Схема двухполупериодного выпрямителя

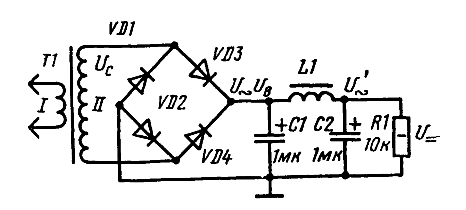


Рис. 32. Мостовое устройство

Далее определяют напряжение пульсаций $U'_{\sim}$, выпрямленное напряжение $U_{=}$ и коэффициент пульсаций P на выходе фильтра, подсчитывают коэффициент фильтрации K и отношение $U_c/U_{=}$

Увеличивают в 10, 100, 200 раз емкость конденсатора — сначала C1, а потом C2 и измерения повторяют. По полученным данным строят график, подобный приведенному на рис. 30,*б*. Из графика находят оптимальные емкости конденсаторов C1 и C2 Затем при оптимальных емкостях изменяют сопротивление нагрузки, устанавливая вместо указанного на схеме резисторы с номиналами 5, 2 и 1 кОм. Для каждого резистора подсчитывается потребляемый ток. По полученным данным строят график зависимости напряжения постоянного тока на нагрузке от ее сопротивления (рис 30,*в*)

В заключение измеряют частоту пульсаций. Полученные при проверке выпрямителя данные сводят в таблицу

Мостовое устройство. Оно (рис. 32) не требует вторичной обмотки с выведенной средней точкой, но содержит вдвое большее число диодов. В мостовом устройстве выпрямляются оба полупериода переменного напряжения U_c, т. е. оно является двухполупериодным. При положительной полуволне напряжения на верхнем выводе вторичной обмотки трансформатора T1 ток проходит через диоды VD2 и VD3, при положительной полуволне на нижнем выводе — через диоды VD1 и VD4. Поскольку при работе мостового устройства ток течет не через один диод, а через два, соединенные последовательно, то обратное напряжение, приходящееся на один диод, оказывается примерно в 2 раза меньше, чем в предыдущих устройствах. Поэтому в данном случае в качестве диодов моста можно использовать выпрямительные диоды, имеющие обратное напряжение от 75 В и выше.

Проверку мостового устройства ведут в том же порядке, что и описанных ранее. Измерять напряжение на вторичной обмотке трансформатора T1 в данном случае не требуется, так как оно уже измерялось. Следует измерить напряжение пульсаций $U_{\sim}$, выпрямленное напряжение $U_в$, напряжения $U'_{\sim}$, $U_{=}$ на выходе фильтра, после чего определить коэффициенты пульсаций, подсчитать K и отношение $U_c/U_{=}$. Затем, как описано ранее, найти оптимальные емкости конденсаторов C1, C2, снять зависимость напряжения $U_{=}$ от сопротивления нагрузки и оформить график этой зависимости

В заключение нужно определить частоту пульсаций и результаты проверки выпрямителя с фильтром занести в сравнительную таблицу.

Однополупериодный выпрямитель с умножением напряжения (рис. 33). Он применяется в основном при малых (10 ... 15 мА) токах нагрузки. Сплошными

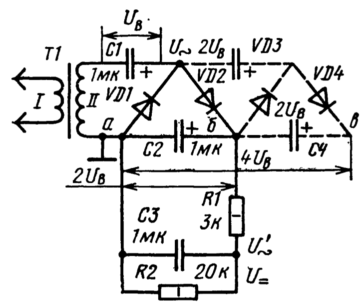


Рис. 33. Схема однополупериодного выпрямителя с умножением напряжения

линиями изображены два звена умножения (диоды VD1, VD2, конденсаторы C1, C2). Каждое звено состоит из диода и конденсатора. Штриховой линией показаны еще два звена, при наличии которых обеспечивается четырехкратное умножение напряжения постоянного тока, выделяющего C2 на конденсаторе C1.

Выпрямитель работает следующим образом. При положительной полуволне напряжения на нижнем выводе вторичной обмотки T1 течет ток через диод VD1, заряжая до напряжения $U_в$ конденсатор C1. При положительной полуволне на верхнем выводе обмотки на диод VD2 поступает сумма напряжений вторичной обмотки U_c и напряжения $U_в$ на конденсаторе C1, через диод проходит ток и конденсатор C2 заряжается до напряжения $2U_в$, и т. д. Отсюда видно, что чем больше звеньев, тем большее напряжение постоянного тока можно получить от данного выпрямителя. Поскольку в нашем случае используются два звена, фильтр устанавливают на выходе второго звена (точки а—б). При четырех звеньях фильтр подключают к точкам а—в. В этом случае конденсатор C3 должен быть рассчитан на рабочее напряжение не менее $4U_в$. Число звеньев может быть достаточно большим, а выходное напряжение в соответствующее число раз выше напряжения $U_в$. Учитывая последнее обстоятельство, необходимо на выходе фильтра устанавливать конденсатор (C3), рассчитанный на требуемое рабочее напряжение. В фильтре из-за относительно небольшого выпрямленного тока установлен не дроссель, а резистор. Обратное напряжение, приходящееся на каждый диод в мостовом выпрямителе, составляет $1{,}4U_в$. Учитывая, что выпрямленное напряжение в выпрямителе с умножением имеет в 2 раза большее значение, в нашем случае необходимо использовать диоды, рассчитанные на работу с обратным напряжением не менее 200 В.

Проверку выпрямителя выполняют в следующем порядке. Провод общей шины осциллографа временно отсоединяют от нижнего вывода вторичной обмотки трансформатора T1 и подключают к верхнему выводу. Измеряют выпрямленное напряжение $U_в$ на конденсаторе C1. Затем восстанавливают соединение общей шины осциллографа с нижним выводом обмотки и измеряют выпрямленное напряжение и напряжение пульсаций на конденсаторе C2, т. е. на выходе выпрямителя. Подсчитывают коэффициент пульсаций P_0. Далее измеряют постоянное напряжение $U_=$ на выходе фильтра (на конденсаторе C3), напряжение пульсаций $U'_\sim$, подсчитывают коэффициент пульсаций P_0, а также коэффициент сглаживания фильтра K.

После этого увеличивают одновременно в 10, 100, 200 раз емкости конденсаторов C1, C2 и измеряют выпрямленное напряжение на конденсаторе C2, напряжение пульсаций $U_\sim$ и определяют коэффициент пульсаций P_0. По полученным данным строят график зависимости этих показателей от емкости конденсаторов C1 и C2. Найдя оптимальные емкости, в выпрямитель устанавливают конденсаторы с этими значениями, измеряют напряжения $U_в$ и $2U_в$, определяют P_0 и K. Далее, увеличивая в 10, 100, 200 раз емкость конденсатора C3, выясняют, как изменяются при этом $U'_\sim$, $U_=$ и P_0. Затем уменьша-

ют сопротивление нагрузки R2 в 2 и 4 раза, измеряют $U_=$. По полученным данным определяют ток, потребляемый резистором нагрузки, и строят график зависимости напряжения на выходе фильтра от сопротивления и тока нагрузки. В заключение определяют частоту пульсаций на конденсаторе C2. Для данного выпрямителя отношение $U_c/U_=$ не является чем-то характерным, так как оно зависит от числа звеньев умножения и может принимать практически любые значения. Результаты проверки мостового выпрямителя также заносят в сравнительную таблицу.

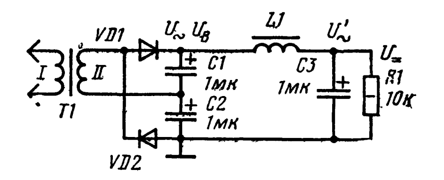


Рис. 34. Схема двухполупериодного выпрямителя с удвоением напряжения

Двухполупериодный выпрямитель с удвоением напряжения (рис. 34). Он позволяет получить примерно в 2 раза большее постоянное напряжение, чем переменное напряжение вторичной обмотки трансформатора T1, при токах нагрузки до 100 ... 150 мА и более. Выпрямитель можно рассматривать как два однополупериодных (обмотка трансформатора — диод VD1 — конденсатор C1, обмотка трансформатора — диод VD2 — конденсатор C2), включенных последовательно. Удвоенное напряжение на его выходе, т. е. на конденсаторах C1 и C2, получается в результате сложения раздельно выпрямленных напряжений. Обратное напряжение диода в рассматриваемом выпрямителе имеет то же значение, что для однополупериодного с умножением напряжения (см. рис. 33), т. е. $1{,}4U_=$. Также следует учитывать, что напряжение $U_в$ имеет в 2 раза большее значение, чем в двухполупериодном выпрямителе. Поэтому здесь должны применяться диоды с обратным напряжением не менее 200 В. Данные, полученные в результате проверки, сводят в сравнительную таблицу.

3.2. Усилитель напряжения звуковой частоты

Функциональная схема усилителя напряжения звуковой частоты показана на рис. 35,*а*: здесь $U_{вх}$ — напряжение сигнала на входе каскада; $R_{вх}$ — входное сопротивление каскада, т. е. сопротивление между контактами 1, 2, являющееся сопротивлением нагрузки для источника сигнала; $C_{вх}$ — емкость между контактами 1, 2, являющаяся входной емкостью каскада; $U_{вых}$ — усиленное напряжение сигнала на выходе каскада; $R'_{вх}C'_{вх}$ — входное сопротивление и емкость последующей цепи; E — один из полюсов источника постоянного напряжения питания каскада, второй полюс источника соединен с общей шиной.

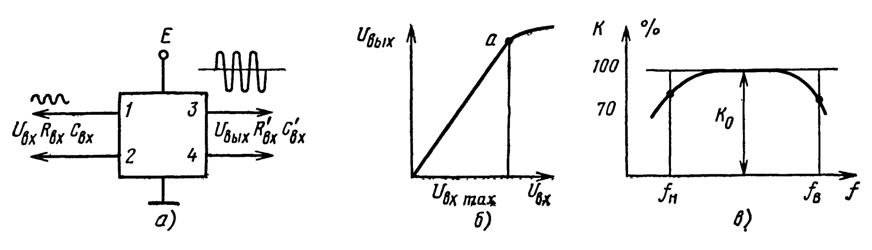


Рис. 35. Усилитель напряжения звуковой частоты:
а — функциональная схема; *б* — амплитудная характеристика; *в* — частотная характеристика

На рис. 35,*б* приведена амплитудная характеристика каскада, показывающая, как изменяется напряжение сигнала на выходе каскада при изменении уровня сигнала на входе. По виду амплитудной характеристики можно судить о характере и величине нелинейных искажений в усилителе. Амплитудную характеристику снимают при постоянной частоте сигнала, лежащей внутри полосы пропускания каскада (например, 1 кГц), и заданном напряжении питания.

Из рис. 35,*б* видно, что при равномерном увеличении напряжения сигнала напряжение на выходе также равномерно растет до момента (точка *а*), когда дальнейшее увеличение напряжения $U_{вх}$ не приводит к пропорциональному росту напряжения $U_{вых}$. В точке *а* линейная зависимость нарушается и характеристика загибается, что свидетельствует о возникновении искажений. Во избежание этого необходимо, чтобы при работе усилителя напряжение входного сигнала не превышало определенного предельного значения, т. е. усилитель должен работать в пределах линейного участка характеристики.

По амплитудной характеристике можно определить коэффициент усиления, показывающий, во сколько раз напряжение сигнала на выходе больше, чем на входе, т. е. $K = U_{вых}/U_{вх}$. Напряжения берут в одинаковых единицах (вольтах, милливольтах, или просто делениях шкалы). Поскольку амплитудную характеристику снимают при определенной частоте сигнала, то и коэффициент усиления каскада определяется именно для этой частоты.

Зависимость K от частоты при постоянном значении напряжения сигнала на входе и питающего напряжения называется амплитудно-частотной характеристикой усилительного каскада (АЧХ), для упрощения называемой обычно просто частотной характеристикой. Типичная частотная характеристика усилителя показана на рис. 35,*в*. Из нее видно, что коэффициент усиления, имеющий наибольшее значение на средних частотах, снижается при уменьшении частоты сигнала до значения $f_н$ и увеличении до значения $f_в$. Полосой пропускания любого усилителя звуковой частоты считается полоса частот, заключенная между точками (на горизонтальной оси) $f_н$ и $f_в$, при которых значение K снижается примерно на 30%.

Транзисторный усилитель. При использовании транзисторов в усилителях возможны различные варианты их включения. На рис. 36,*а* транзистор VT1 включен по схеме, называемой схемой с общим коллектором (ОК). Нагрузкой его является резистор R2 в цепи эмиттера. Такой усилитель характеризуется относительно высоким входным (более 50 К) и низким (300 ... 3000 Ом) выходным сопротивлениями. Однако коэффициент усиления его меньше единицы, т. е. выходное напряжение каскада оказывается меньше входного, происходит некоторое ослабление напряжения сигнала. Задача этого каскада одна — обеспечить высокое входное и низкое выходное сопротивления усилителя.

Транзистор VT2 включен по схеме с общим эмиттером (ОЭ), нагрузкой его является резистор R4 в цепи коллектора. При таком включении каскад имеет низкое входное сопротивление (100 ... 300 Ом), однако может обеспечить 50 ... 100-кратное усиление напряжения сигнала. Чтобы собрать усилитель с относительно высоким входным сопротивлением и большим усилением, целесообразно в первом каскаде использовать транзистор, включенный по схеме ОК, а во втором — по схеме ОЭ, что и сделано в усилителе на рис. 36,*а*. Напряжение $U_{вх}$ через разделительный конденсатор C1 поступает на базу транзистора VT1. Через резистор R1 сюда же поступает постоянное напряжение, необходи-

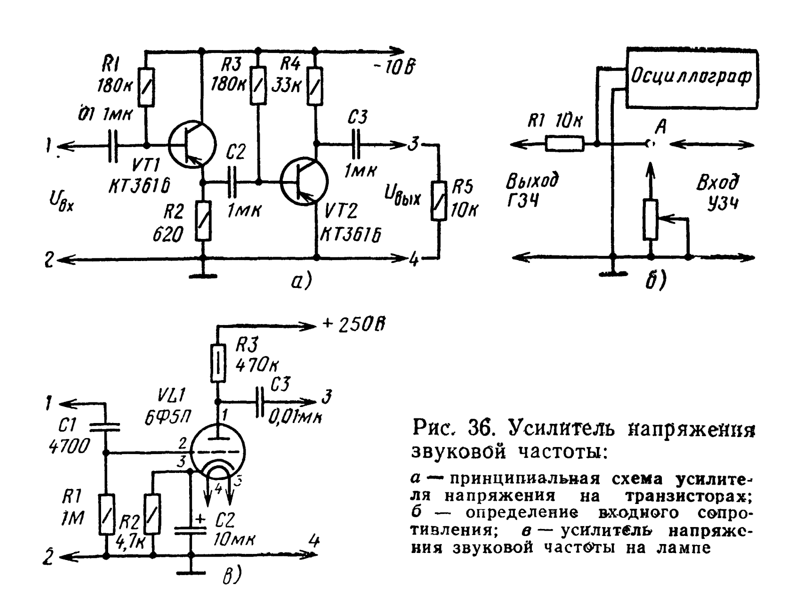


Рис. 36. Усилитель напряжения звуковой частоты:

а — принципиальная схема усилителя напряжения на транзисторах; *б* — определение входного сопротивления; *в* — усилитель напряжения звуковой частоты на лампе

мое для работы транзистора на линейном участке характеристики. С резистора нагрузки R2 напряжение сигнала через разделительный конденсатор C2 подается на базу транзистора VT2. На его базу через резистор R3 поступает напряжение смещения. Усиленное напряжение сигнала с коллектора транзистора VT2 через разделительный конденсатор C3 поступает на последующий каскад. Резистор R5 является эквивалентом входного сопротивления следующего каскада. Без этого резистора результаты измерения коэффициента усиления были бы завышены.

В усилителе на рис. 36,*а* можно использовать любые транзисторы, предназначенные для усиления напряжения звуковой частоты. Если применяются транзисторы n-p-n типа, то нужно изменить полярность источника питания — положительный полюс соединяют с коллекторными цепями, а отрицательный — с эмиттерными. Усилитель собирают на плате из картона. Напряжение питания 10 В подают на усилитель от осциллографа.

Для проверки усилителя используют осциллограф, подготовленный для измерения напряжений переменного тока, и ГЗЧ. Напряжение сигнала с выхода ГЗЧ подают на вход усилителя. Регулятор выходного напряжения ГЗЧ переводят в положение, при котором напряжение на выходе генератора отсутствует. Вход осциллографа соединяют с выводом эмиттера транзистора VT1. Переключатель SA1 осциллографа устанавливают в положение «Усилитель», регулятор «Усиление» — в положение наибольшей чувствительности. Усилитель подключают к источнику питания. Генератор переключают на частоту 1 кГц. Его регулятором «Выход» устанавливают такое напряжение на входе усилителя, при котором станут заметными искажения формы напряжения на резисторе R2. Уменьшив входное напряжение до появления неискаженной синусоиды, принимают полученное входное напряжение за наибольшее значение $U_{вх}$. Если неискаженной формы сигнала добиться не удастся, следует подобрать резистор R1, номинал которого меняют в пределах ±50%. Оставляют резистор с таким сопротивлением, при котором искажения уменьшились. Перед заменой

резистора следует отключать усилитель от источника питания, иначе можно повредить транзистор VT1.

Затем определяют ток в цепи коллектор — эмиттер, который не должен превышать 60 ... 70% от допустимого значения, указанного в паспорте транзистора. Для этого измеряют постоянное напряжение на резисторе R2 и полученное значение в вольтах делят на сопротивление резистора в килоомах. Ток получится в миллиамперах, и его значение не должно превышать 5 ... 7 мА. Если ток значительно больше, для его уменьшения следует снова подобрать резистор R1. Далее осциллограф подключают к точке соединения резистора R5 и конденсатора C3 и проверяют форму сигнала на выходе усилителя. Входное напряжение должно оставаться неизменным. Регулятор «Усиление» осциллографа должен быть в положении, при котором вертикальный размер осциллограммы составит 0,5 ... 0,7 диаметра ЭЛТ. Если наблюдаются заметные искажения формы сигнала, то подбирают резистор R3, как и в первом каскаде.

Амплитудную характеристику усилителя снимают следующим образом. Вход осциллографа соединяют с входом усилителя (точка 1). Регулятором «Выход» ГЗЧ устанавливают напряжение сигнала 0,1 В (частота 1 кГц). После этого вход осциллографа подключают к выходу усилителя (точка 3) и определяют выходное напряжение. Затем кабель вновь подключают ко входу усилителя, напряжение сигнала устанавливают 0,2 В, определяют значение $U_{вых}$, и т. д. Измерения прекращают, когда увеличение напряжения входного сигнала не приводит к увеличению напряжения сигнала на выходе. По полученным данным строят график амплитудной характеристики наподобие показанного на рис. 35,*б*. Из него определяют коэффициент усиления усилителя при работе на линейной части характеристики. Его значения должны быть менее 20.

Для снятия частотной характеристики обычно используют ГЗЧ с плавной перестройкой от 20 ... 30 Гц до 20 ... 30 кГц. Поддерживая напряжение сигнала на одном уровне, изменяют частоту генератора, начиная с 20 Гц, через определенные интервалы и каждый раз измеряют напряжение на выходе усилителя. Заканчивают снятие частотной характеристики, когда выходное напряжение спадает более чем на 30 ... 50% по сравнению с напряжением на средних частотах. Для получения частотной характеристики описанным способом необходимо провести большое число измерений. Между тем наибольший интерес представляют участки частотной характеристики в области низких 20 ... 120 Гц и высоких 5 ... 15 кГц частот, поскольку в полосе 100 Гц ... 5 кГц частотная характеристика обычно равномерна.

В нашем случае при наличии ГЗЧ с двумя фиксированными частотами (1 и 10 кГц) и осциллографа с источниками сигнала с частотами 50 и 100 Гц частотная характеристика снимается упрощенным способом. Используется вспомогательный переменный резистор сопротивлением 20 ... 200 кОм. Один из его крайних выводов соединяют с общей шиной, второй крайний вывод — с гнездом X8 осциллографа. Гнездо X7 соединяют с общей шиной. Движок резистора подключают к точке 1 усилителя. Таким образом на вход усилителя поступает сигнал с частотой 50 Гц. С помощью осциллографа и регулировкой вспомогательного резистора устанавливают напряжение $U_{вх}=0{,}2$ В. Затем вход осциллографа соединяют с выходом усилителя (точка 3) и измеряют его выходное напряжение. Полученное значение записывают. Затем вывод переменного резистора отключают от гнезда X8 и соединяют с гнездом X6. Теперь на резистор и, следовательно, на вход усилителя поступает переменное напряжение

с частотой 100 Гц. Установив его значение, равное 0,2 В, измеряют напряжение на выходе усилителя. Полученное значение также записывают. После этого переменный резистор отключают от усилителя и на его вход подают от ГЗЧ напряжение 0,2 В сначала с частотой 1, а затем 10 кГц, измеряя и записывая в обоих случаях выходное напряжение усилителя. Таким образом на частотной характеристике усилителя отмечают четыре точки на горизонтальной оси с частотами 50, 100 Гц, 1 и 10 кГц и точки на вертикальной оси с соответствующими значениями выходного напряжения.

Будем считать, что частотная характеристика линейна в пределах 150 Гц.. ...5 кГц, и отметим эти два значения на горизонтальной оси. Уже говорилось, что искажения частотной характеристики оцениваются коэффициентом частотных искажений, показывающим, на сколько отличается коэффициент усиления на граничных частотах от коэффициента усиления на средней частоте полосы пропускания. Для нашего случая, когда входное напряжение постоянно на всех частотах, можно для построения частотной характеристики, подобной характеристике на рис. 35,*в*, отмечать не K_0 и K, а выходные напряжения на средней и крайних частотах, соответственно $U_{вых\,0}$ и $U_{вых}$. Несмотря на ограниченное число точек, соединив их, как показано на рис. 36,*в* штриховой линией, мы получим приближенную частотную характеристику усилителя.

Амплитудная и частотная характеристики транзисторного усилителя не однозначно зависят от номиналов использованных деталей. Для оценки этого влияния на амплитудную характеристику следует увеличить на 100% сопротивления резисторов R2 и R4 и снять амплитудную характеристику усилителя при этих данных. Изменение емкости конденсаторов в большей степени влияет на частотную характеристику. Для проверки этого увеличивают в 10 и 100 раз поочередно емкости конденсаторов C1 — C3 и в каждом случае снимают частотную характеристику указанным ранее способом. Построив по результатам проверок амплитудную и частотную характеристики, легко установить, как изменяются показатели усилителя звуковой частоты от номиналов деталей. В частности, увеличение емкости конденсаторов приводит к подъему частотной характеристики в области низких частот, а уменьшение сопротивления резистора R4 на 50% приведет к ее подъему в высокочастотной части.

Ранее говорилось о входном сопротивлении транзисторных усилителей звуковой частоты. Значение его во многих случаях необходимо знать. С достаточной для радиолюбителя точностью оно определяется следующим образом (рис. 36,*б*). Собирают цепь, изображенную на рис. 36,*б*. Частоту ГЗЧ устанавливают 1 кГц. Переключатель SA1 осциллографа ставят в положение «Усилитель». С точкой А соединяют вход усилителя при включенном питающем напряжении. В этом случае входное сопротивление усилителя оказывается включенным последовательно с резистором R1. При соответствующей регулировке ГЗЧ и осциллографа на экране добиваются устойчивой осциллограммы сигнала, измеряют и запоминают его напряжение. Затем вход усилителя отключают от точки А, вместо него подключают верхний по схеме вывод резистора R и, регулируя его, добиваются такого же напряжения в точке А, какое было при подключенном входе усилителя. Измерив подобранное сопротивление резистора R2, мы получим входное сопротивление усилителя или, что то же, каскада на транзисторе VT1. Входное сопротивление усилителя на транзисторах в определенной степени зависит от частоты сигнала и уменьшается с ее повышением.

Ламповый усилитель. На рис. 36,*в* приведена принципиальная схема каскада усиления напряжения звуковой частоты (без цепей ООС) на триоде комбинированной лампы триод — пентода 6Ф5П (используется в телевизоре УЛТ-47/59/61-II). На вход каскада сигнал поступает через разделнтельный конденсатор С1. Резистор R1 включен в качестве сопротивления утечки сетки. В катодной цепи лампы для получения напряжения смещения включен резистор R2, конденсатор С2 — блокирующий. Резистор R3 используется в качестве резистора нагрузки триода, с которого усиленное напряжение сигнала звуковой частоты поступает через разделительный конденсатор С3 на вход последующего каскада. Входное сопротивление каскада велико и достигает 1 МОм. Такое значение получается без применения каких-либо специальных мер, что является преимуществом лампового усилителя перед транзисторным. По другим показателям — коэффициент усиления, полоса усиливаемых частот, коэффициент частотных искажений — схемы на рис. 36, *а* и *б* примерно равноценны.

Амплитудная и частотная характеристики каскада снимаются так же, как у транзисторного усилителя. Форма амплитудной характеристики и протяженность ее линейной части зависят от сопротивления резисторов R2 и R3, частотная характеристика — от сопротивления резистора R3 и емкости конденсаторов С1—С3. При проверке каскада и снятии его характеристик емкости могут отклоняться от номиналов от —50 до +200% и более. Номиналы резисторов R2 и R3 можно изменять на ±70%. Изменение номиналов деталей в указанных широких пределах, осуществляемое для проверки работы усилителя в различных режимах, не представляет опасности для лампы.

3.3. Усилитель мощности звуковой частоты

Назначение усилителя мощности звуковой частоты — преобразовывать напряжение звуковой частоты в слышимые звуковые колебания с помощью динамической головки, к которой должно подводиться напряжение звуковой частоты достаточной мощности. Отсюда и название этих усилителей. Функциональная схема усилителя мощности дана на рис. 37. Здесь $U_{вх}$ — напряжение сигнала на входе усилителя, $P_{вых}$ — мощность звуковой частоты, выделяемая на нагрузке, $U_{вых}$ — напряжение звуковой частоты на сопротивлении нагрузки, $R_г$ — сопротивление звуковой катушки динамической головки, являющееся сопротивлением нагрузки, $R_{вх}$ — входное сопротивление усилителя. Е — напряжение питания.

Основные характеристики усилителя мощности подобны характеристикам усилителя напряжения звуковой частоты. Амплитудная характеристика устанавливает связь между выходной мощностью и напряжением сигнала на входе. Ее снимают на средней частоте при заданном напряжении источника питания. Частотная характеристика показывает, как изменяется выходная мощность уси-

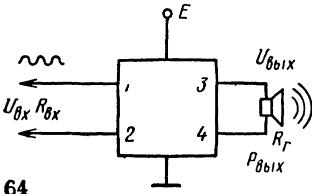


Рис. 37. Функциональная схема усилителя мощности звуковой частоты

лителя при изменении частоты и постоянном уровне входного сигнала. При построении частотной характеристики на вертикальной оси отмечают значения коэффициентов неравномерности $M = P_{ср}/P$, где $P_{ср}$ — значение выходной мощности на средней частоте полосы пропускания (1 кГц), P — значение выходной мощности на граничных частотах полосы пропускания. Так как значение выходной мощности определяется путем измерения напряжения звуковой частоты, действующего на сопротивлении звуковой катушки динамической головки, то в этом случае, естественно, не могут быть учтены особенности примененной динамической головки. Более верной является частотная характеристика, снятая по звуковому давлению.

Динамическую головку устанавливают в помещении со стенами из звукопоглощающего материала, на усилитель подают напряжение сигнала, частота которого изменяется в установленных пределах, и с помощью специального микрофона определяют звуковое давление, создаваемое динамической головкой в пространстве в заданном диапазоне частот. Поскольку в любительских условиях получить частотную характеристику по звуковому давлению практически невозможно, ее снимают по напряжению на звуковой катушке и мощность подсчитывают по формуле $P_{вых} = U^2_{вых}/R_г$.

Транзисторный усилитель мощности звуковой частоты. В транзисторном усилителе звуковой частоты усилитель напряжения и усилитель мощности, как правило, связаны гальванически, т. е. образуют последовательную цепь для постоянного тока. Поэтому проверку в отдельности усилителя мощности, отключенного от общей схемы усилителя, часто не проводят. Одна из многочисленных принципиальных схем усилителя звуковой частоты с мощным оконечным каскадом приведена на рис. 38,*а*. Его выходная мощность составляет около 0,1 Вт.

Транзистор VT1 используется в каскаде предварительного усиления напряжения звуковой частоты. Конденсаторы C1 и C4 — разделительные. С помощью резисторов R1—R3 обеспечивается требуемый режим работы транзистора. Через резистор R2 с выхода усилителя подается на вход каскада сигнал отрицательной обратной связи, улучшающей работу усилителя. В коллекторной цепи транзистора VT1 включены резисторы нагрузки R4 и R5, с которых усиленное напряжение сигнала поступает на базы транзисторов VT3 и VT4, работающих в оконечном каскаде усиления мощности. Оконечные каскады транзис-

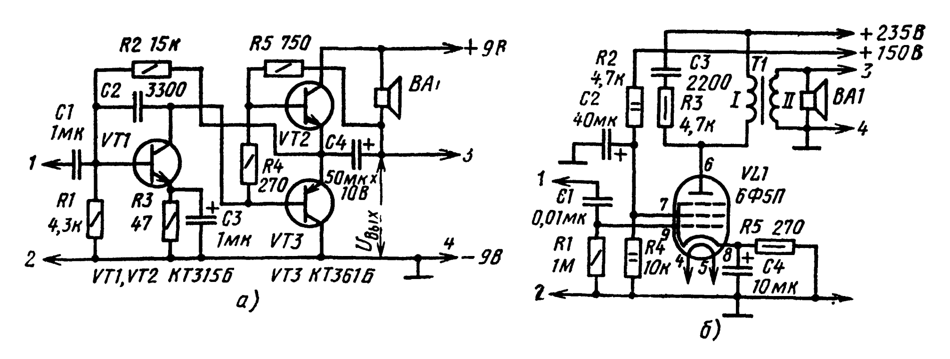


Рис. 38. Усилитель мощности звуковой частоты·
а — на транзисторах; *б* — на лампе

торных усилителей мощности, как правило, собирают по двухтактной схеме, в которой используются два транзистора, работающих поочередно. Один из них усиливает положительные, а другой — отрицательные полуволны сигнала. Двухтактные схемы обеспечивают лучшее качество воспроизведения звука, более экономичны. Значительно реже, преимущественно в маломощных каскадах, применяют однотактный оконечный каскад, в котором используется один транзистор, потребляющий в сравнении с двухтактным бо́льший ток от источника питания для получения одной и той же выходной мощности. С выхода усилителя (точка соединения эмиттеров) колебания звуковой частоты через конденсатор C4 поступают на звуковую катушку динамической головки BA1. В качестве источника питания усилителя можно использовать батарею «Крона» или две батареи от карманного фонаря, включенные последовательно. Макет усилителя собирают по описанному ранее методу.

Проверяют усилитель с помощью осциллографа и ГЗЧ. Вместо динамической головки желательно установить эквивалентный резистор с сопротивлением, равным сопротивлению звуковой катушки (10 Ом). В качестве такого резистора можно использовать две включенные параллельно лампочки освещения шкалы лампового приемника (6,3 В$\times$0,28 А). В крайнем случае динамическую головку можно оставить включенной. Единственное неудобство в этом случае связано с тем, что налаживание усилителя будет сопровождаться мешающим звуком. На вход усилителя подают напряжение с частотой 1 кГц от ГЗЧ, регулятор «Выход» которого устанавливают в положение наименьшего сигнала. Вход осциллографа соединяют с эквивалентом диамической головки (или его звуковой катушкой). Переключатель SA1 должен находиться в положении «Усилитель». Равномерно, с интервалом 0,1 ... 0,2 В увеличивая напряжение от ГЗЧ, измеряют выходное напряжение усилителя, для каждого случая подсчитывают выходную мощность $P_{ср}$ и строят по полученным данным амплитудную характеристику усилителя. Если форма выходного сигнала на экране осциллографа значительно отличается от синусоидальной, то перед снятием амплитудной характеристики необходимо добиться ее улучшения подбором резисторов R1 и R5.

По амплитудной характеристике определяют наибольшее неискаженное напряжение на нагрузке и подсчитывают наибольшую выходную мощность усилителя. Одновременно определяют напряжение сигнала на входе, необходимое для получения наибольшей выходной мощности. Частотную характеристику усилителя мощности снимают так же, как у усилителя напряжения звуковой частоты. Чтобы оценить влияние емкости конденсаторов C1, C3 и C4, характеристику следует снять при трех значениях емкости: в 10 раз меньше номинальной, при номинальной и в 10 раз больше номинальной.

Усилитель мощности на лампе. Для получения мощности порядка единиц ватт, достаточной для воспроизведения звука с необходимым запасом громкости в комнате площадью 20 ... 30 м^2, используют однотактный оконечный каскад на пентоде. Двухтактные ламповые выходные каскады в бытовой радиоэлектронной аппаратуре используют сравнительно редко.

В отличие от транзисторного усилителя, усилитель мощности на лампе может быть полностью проверен в «изолированном» виде, не будучи связан с предварительными каскадами усиления напряжения звуковой частоты. На рис. 38,*б* приведена принципиальная схема выходного каскада на тетроде VL1 комбинированной лампы 6Ф5П, используемой в телевизоре УЛТ-47/59/61-II. Уси-

ленный предварительным усилителем (см. § 3.2) сигнал поступает на управляющую сетку лампы. Резистор R1 включен в качестве сопротивления утечки сетки. Постоянное напряжение смещения, необходимое для работы лампы в пределах линейной части ее характеристики, получается за счет падения напряжения на резисторе R5. Конденсатор СЧ является блокирующим. Для получения требуемого напряжения на экранной сетке включен делитель напряжения, состоящий из резисторов R2 и R4. Конденсатор C2 — блокирующий. Назначение цепи R3, C3 — подавить нежелательные колебания, которые могут возникнуть в обмотках трансформатора T1.

В отличие от усилителя мощности на транзисторах, имеющего низкое выходное сопротивление (единицы ом) и допускающего непосредственное подключение к выходу низкоомной нагрузки (динамической головки), ламповый усилитель мощности имеет выходное сопротивление, исчисляющееся килоомами. Поэтому динамическая головка (4 ... 8 Ом) не может быть «напрямую» включена в цепь анода. Это будет равносильно короткому замыканию в цепи. В этом случае используется трансформаторное подключение нагрузки (динамической головки). Если в анодную цепь включить первичную обмотку трансформатора T1, а к вторичной обмотке присоединить динамическую головку, то нагрузкой пентода на звуковой частоте будет сопротивление $R_н$ между выводами 1 и 2 трансформатора. Это сопротивление зависит как от сопротивления звуковой катушки $R_г$, так и от соотношения между числами витков первичной и вторичной обмоток трансформатора. Оно называется приведенным сопротивлением. Чтобы получить необходимое значение $R_н$ при известном сопротивлении динамической головки, рассчитывают трансформатор с соответствующим соотношением витков обмоток. Обычно в усилителях используют стандартные выходные трансформаторы, обеспечивающие при стандартных головках требуемое сопротивление нагрузки лампы и максимальную неискаженную мощность в звуковой катушке.

С помощью осциллографа и ГЗЧ можно проверить усилитель непосредственно в аппарате, где он используется (например, в телевизоре). Начинают проверку со снятия амплитудной характеристики. В качестве источника сигнала приходится использовать напряжение 6,3 В, получаемое от осциллографа (уровень сигнала от ГЗЧ недостаточен). Для плавной регулировки напряжения на входе усилителя постоянный резистор R1 заменяют переменным. Осциллограф (переключатель SA1 в положении «Усилитель») присоединяют к верхнему по схеме выводу вторичной обмотки трансформатора T1.

Амплитудная характеристика и выходная мощность измеряются так же, как у транзисторного усилителя мощности. Однако в связи с тем, что частота входного сигнала равна всего лишь 50 Гц, истинное значение выходной мощности каскада окажется заниженным на 30 ... 50%. Форму амплитудной характеристики целесообразно проверить, изменив на ±50% сопротивление резистора R4, а затем R5. Частотную характеристику каскада снимают так же, как у транзисторного усилителя мощности, с использованием в качестве источника сигнала ГЗЧ и осциллографа. Из-за малого уровня сигнала ГЗЧ выходная мощность каскада будет небольшой, однако это не скажется на форме его частотной характеристики. Ее форма остается неизменной при любых значениях мощности, не превышающих номинальную. Форма характеристики в значительной степени зависит от емкости и сопротивления цепи

R3, C3 и в меньшей степени — от емкости блокирующих конденсаторов. Чтобы оценить влияние номиналов указанных деталей на форму частотной характеристики, целесообразно снять ее при изменении номиналов деталей на ±50%.

3.4. Усилитель видеосигнала

Усилитель видеосигнала (или видеоусилитель) используется в телевизионных приемниках и, в отличие от усилителя напряжения звуковой частоты, должен усиливать сигналы в полосе частот примерно до 7 МГц. Усиленные видеосигналы поступают на кинескоп и обеспечивают получение на экране изображения. Иными словами, эти сигналы несут информацию об изображении. В черно-белых телевизорах видеоусилитель состоит из одного-двух каскадов, в цветных телевизорах их число может быть больше.

Функциональная схема видеоусилителя показана на рис. 39,*а*. Здесь $U_{вх}$ — входное напряжение видеосигнала; $R_{вх}$ — входное сопротивление усилителя; $C_{вх}$ — емкость между контактами 1, 2, являющаяся входной емкостью каскада; $U_{вых}$ — усиленное напряжение сигнала на выходе; $R'_{вх}$, $C'_{вх}$ — входное сопротивление и входная емкость последующей цепи.

К видеоусилителю предъявляются более жесткие требования, чем к УЗЧ. Помимо широкой полосы частот они должны вносить минимальные фазовые искажения. Свойства видеоусилителя можно оценивать по его частотной характеристике и по форме усиленных им импульсов, воспроизводимых на экране осциллографа. Если на вход усилителя подать сигналы П-образной формы, то на экране ЭЛТ изобразятся импульсы, форма которых будет в той или иной степени отличаться от П-образной из-за искажений, возникших в усилителе, соединительных цепях и пр. Если от генератора импульсов (ГИ) подать П-образный сигнал на вход усилителя (рис. 39,*б*), то выходной сигнал (штриховая линия) будет отличаться по форме от входного. Так, у импульса на выходе может увеличиться длительность фронта $\tau_ф$, т. е. время, в течение которого импульсное напряжение на выходе усилителя достигнет 90% наибольшего значения. Вместо относительно плоской вершины входного импульса на выходном импульсе может появиться выброс. Может возрасти длительность спада $\tau_с$, т. е. промежуток времени, в течение которого после прекращения действия входного импульса напряжение на выходе уменьшится до 10% от максимального. Чтобы оценить степень искажения импульса, устанавливают допуски на те или иные искажения, в пределах которых форма выходного сигнала считается приемлемой. Следует иметь в виду, что искажения формы импульса могут произойти за счет подключения к выходу усилителя измерительных прибо-

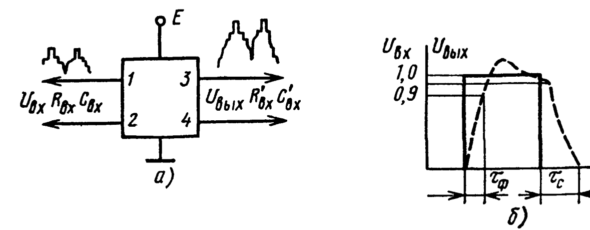


Рис. 39. Видеусилитель:
а — функциональная схема; *б* — искажение П-импульса

проверяют с помощью осциллографа и ГИ. Несмотря на то, что П-образные импульсы генератора имеют значительно более низкую частоту, чем необходимо для полноценной проверки усилителя, тем не менее, используя ГИ, можно усвоить порядок налаживания видеоусилителя с помощью П-образных импульсов.

Напряжение питания (10 В) подается на усилитель от источника питания осциллографа. Переключатель SA1 осциллографа устанавливают в положение «Пластины». Общие шины усилителя, осциллографа и ГИ соединяют вместе. Напряжение с гнезда X3 ГИ подают на вход усилителя (точка 1). Вход осциллографа через конденсатор 20 пФ подключают сначала ко входу усилителя, затем — к выходу (точка 3), чтобы убедиться в том, что П-образный сигнал усиливается. Затем подбирают уровень входного сигнала таким, чтобы выходной сигнал не был искажен из-за перегрузки усилителя. После этого сравнивают осциллограммы входного и выходного импульсов. Используя масштабную сетку, определяют коэффициент усиления каскада. Амплитуда выходного импульса должна быть больше входного в 10 ... 12 раз. Сопоставляя форму входного и выходного импульсов, определяют характер искажения выходного импульса (см. рис. 13). Далее проверяют форму выходного импульса при изменении номиналов радиодеталей. После каждого изменения схему восстанавливают в первоначальном виде, а перед изменением усилитель отключают от источника питания. Сначала проверяют форму импульса на выходе, замкнув дроссель L1. Следующее изменение — замыкание резистора R5. Затем уменьшают на 50% сопротивление резистора R4, далее его же увеличивают на 100%. После этого увеличивают емкость на выходе усилителя: к точкам 3, 4 поочередно подключают конденсаторы емкостью 50, 200 и 1000 пФ. Такая проверка позволит радиолюбителю определить причины, приводящие к тем или иным искажениям выходного сигнала, и устранить их.

Ламповый видеоусилитель. На рис. 40,*б* приведена принципиальная схема однокаскадного видеоусилителя телевизора УЛТ-47-III.

Каскад собран на пентоде VL1. Входной видеосигнал непосредственно с выхода детектора поступает на управляющую сетку лампы. Резистор R1 и дроссель L1 одновременно служат элементами нагрузки детектора, выделяющего напряжение видеосигнала, и цепью утечки сетки лампы. За счет дросселя L1 частотная характеристика детектора расширена в сторону высоких частот. Резистор R2 включен для получения напряжения смещения. В анодной цепи лампы установлены корректирующие элементы L2, C2, L3, R3, L4 и резистор нагрузки R4, обеспечивающие необходимую форму частотной характеристики в полосе частот до 7 МГц. Усиленное напряжение видеосигнала поступает на кинескоп с точки соединения дросселей L3 и L4. С помощью переменного резистора R5 можно изменять постоянное напряжение на экранной сетке пентода с целью получения плавной регулировки усиления каскада и соответственно контрастности изображения на экране телевизора. Конденсатор C3 — блокирующий.

Для полноценной проверки видеоусилителя в телевизоре, подстройки его амплитудно-частотной характеристики необходима достаточно сложная фабричная аппаратура. Однако, чтобы убедиться в более или менее нормальной работе каскада, можно проверить его упрощенным способом, используя только ГИ. П-образный сигнал от ГИ подается на имеющуюся на плате усилителя контрольную точку КТ1. В этом случае на экране телевизора должно появить-

ров, в частности осциллографа с большой входной емкостью, длинных соединительных проводов и пр.

Проверка или налаживание усилителя с помощью генератора П-образных импульсов не требует много времени и отличается наглядностью. Для проверки видеоусилителя в телевизоре следует использовать П-образный импульс с частотой повторения не менее 500 кГц. Амплитудная характеристика усилителя должна быть линейной в пределах, ограниченных наименьшим и наибольшим значениями входного сигнала. Из амплитудной характеристики усилителя находят коэффициент усиления на средней частоте сигнала, за которую принимают ее значение в пределах 1 ... 2 МГц.

Транзисторный видеоусилитель. Простейшая принципиальная схема транзисторного усилителя приведена на рис. 40,*а*. Он предназначен для работы в качестве первого каскада двухкаскадного усилителя в транзисторном черно-белом телевизоре.

На вход усилителя подается видеосигнал с выхода детектора. Конденсатор C1 является разделительным. С помощью резисторов R1 и R2 на базу транзистора VT1 поступает постоянное напряжение, необходимое для его работы в линейной части амплитудной характеристики. Резистор R3 установлен для повышения входного сопротивления каскада. Нагрузкой транзистора являются соединенные последовательно резистор R4 и дроссель L1. При такой нагрузке частотная характеристика каскада расширяется до нескольких мегагерц. Резистор R5 и конденсатор C2 включены для подъема частотной характеристики в области низких частот. Конденсатор C3 — разделительный. Конденсатор $C'_{вх}$ и резистор $R'_{вх}$ являются эквивалентом входной цепи последующего каскада. Поскольку усилитель налаживается с помощью осциллографа, присоединяемого к выходу, то эквивалентом последующего каскада для усилителя будет осциллограф.

Вместо транзистора типа П416 в видеоусилителе можно использовать транзисторы типа КТ312А, КТ315В, КТ315Г, КТ601А и другие высокочастотные транзисторы, предназначенные для использования в телевизорах. Катушка L1 намотана на резисторе МЛТ-0,5 сопротивлением не менее 50 кОм и состонт из 180 витков провода ПЭВ-0,1 ... 0,2, намотанных внавал между выступающими частями резистора. Макет усилителя, собранного описанным ранее способом,

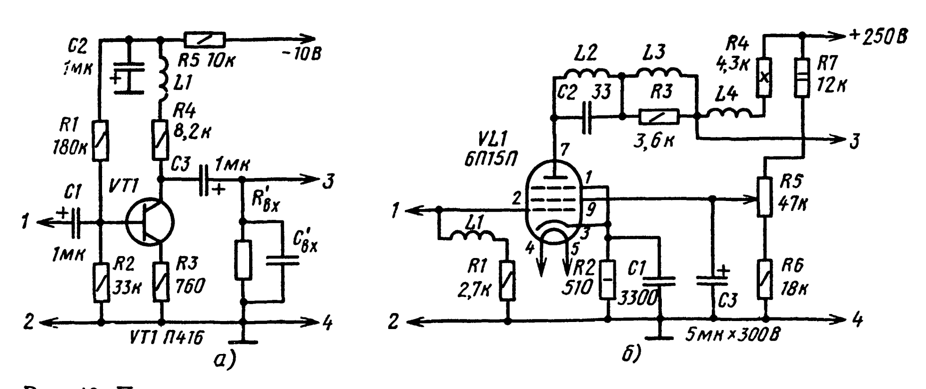


Рис. 40. Принципиальная схема видеоусилителя:
а — на транзисторе; *б* — на лампе

ся 5—10 контрастных горизонтальных полос, свидетельствующих о работоспособности каскада. При отсутствии полос необходимо с помощью осциллографа измерить постоянные напряжения на катоде лампы, аноде и экранной сетке. Причиной отсутствия напряжения на аноде может быть обрыв в дросселе L2 или L4. Напряжение на экранной сетке может отсутствовать из-за пробоя конденсатора C3 или порчи переменного резистора R5. Если на электродах лампы имеются требуемые напряжения, то, соединив вход осциллографа с анодом, определяют, имеется ли на нем усиленное импульсное напряжение. Если его нет — лампа VL1 неисправна. Наличие на аноде П-образного напряжения при отсутствии горизонтальных полос на экране телевизора свидетельствует об обрыве в цепи, соединяющей дроссели L3 и L4 с кинескопом.

Напомним, что при работе с включенным телевизором необходимо соблюдать требования техники безопасности.

3.5. Резонансные усилители

Резонансные усилители обычно используют для усиления высокочастотных колебаний во входных каскадах и каскадах усиления промежуточной частоты радиоприемников, телевизоров, тюнеров и т. п.

Функциональная схема однокаскадного резонансного усилителя приведена на рис. 41,*а*. Здесь $U_{вх}$ — входное напряжение сигнала высокой частоты; $R_{вх}$, $C_{вх}$ — входное сопротивление и емкость каскада; $U_{вых}$ — усиленное напряжение сигнала высокой частоты; $R'_{вх}$, $C'_{вх}$ — входное сопротивление и емкость последующей цепи (каскада).

Резонансный усилитель отличается формой амплитудно-частотной характеристики, имеющей резко выраженный подъем на частоте f_0, называемой резонансной частотой. Из характеристики определяют полосу пропускания (рис. 41,*б*), т. е. разность $f_2—f_1$ частот сигнала, на которых коэффициент усиления снижается на 30%. Частотную характеристику резонансного усилителя формируют с помощью колебательных контуров от одиночных, содержащих катушку индуктивности и конденсатор, до весьма сложных колебательных систем, состоящих из нескольких катушек и конденсаторов. В многокаскадных резонансных усилителях общая частотная характеристика формируется перемножением характеристик отдельных каскадов. Если контуры в каждом каскаде настроены на одну резонансную частоту, то итоговая частотная характеристика будет, как принято говорить, одногорбой, с одним максимумом. Если контуры в каскадах настроены на разные частоты, то результирующая частотная характеристика будет многогорбой, с несколькими максимумами. В последнем случае многокаскадный усилитель имеет значительно более широкую полосу пропус-

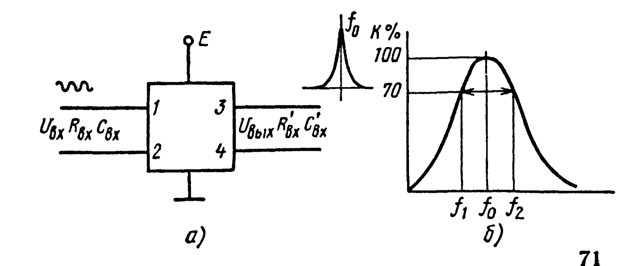


Рис. 41. Резонансные усилители:
а — функциональная схема; *б* — амплитудно-частотная характеристика

кания. В зависимости от ее ширины резонансные усилители имеют различное назначение. Здесь рассмотрены только одноконтурные резонансные усилители.

Транзисторный резонансный усилитель (рис. 42,*а*). На вход усилителя сигнал поступает через разделительный конденсатор C1. Резисторы R1, R2 служат для обеспечения необходимого режима работы транзистора VT1. В коллекторную цепь транзистора включен контур L1C2, с которого через разделительный конденсатор C3 усиленное напряжение поступает на резистор $R'_{вх}$ и конденсатор $C'_{вх}$, являющиеся эквивалентом входного сопротивления и емкости следующего каскада.

В усилителе можно использовать любой маломощный высокочастотный транзистор p-n-p структуры. Катушка L1 содержит 80 витков провода ПЭВ-0,1, намотанных на каркасе диаметром 8 мм. Ширина намотки 10 мм. Концы катушки закрепляют липкой лентой. Собранный макет усилителя проверяют с помощью осциллографа и ГВЧ. Для питания усилителя используют источник напряжения 10 В осциллографа.

Сигнал от ГВЧ подают на вход усилителя (точки 1, 2), с его выходом (точки 3, 4) соединяют вход осциллографа. Переключатель SA1 осциллографа устанавливают в положение «Пластины», а переключатель SA4 — в положение «Вход X». В данном случае осциллограф используют в качестве индикатора высокочастотного напряжения. Включив и прогрев осциллограф, изменяют частоту ГВЧ. При совпадении частот ГВЧ и резонансной частоты контура L1C2 на экране осциллографа появится вертикальная линия. Уменьшив до нуля напряжение на входе усилителя, замечают положение точки на масштабной сетке перед экраном и затем вновь увеличивают входное напряжение до значения, при котором увеличение длины вертикальной линии замедлится. Отсчитав при этом значение входного напряжения в делениях масштабной сетки и соответствующее значение выходного напряжения, определяют коэффициент усиления каскада $K=U_{вых}/U_{вх}$ (U — в делениях сетки) при резонансной частоте.

Далее, изменяя частоту ГВЧ в обе стороны от резонансной и отмечая при этом деления шкалы конденсатора настройки генератора, по длине линии на масштабной сетке строят амплитудно-частотную характеристику каскада. Резонансную кривую снимают при различных входных сопротивлениях следующего каскада. Для этого к точкам 3, 4 подключают резисторы сопротивлением 100, 50, 10, 5 и 1 кОм, снимая каждый раз амплитудно-частотную характеристику каскада. Кроме входного сопротивления следующего каскада к контуру

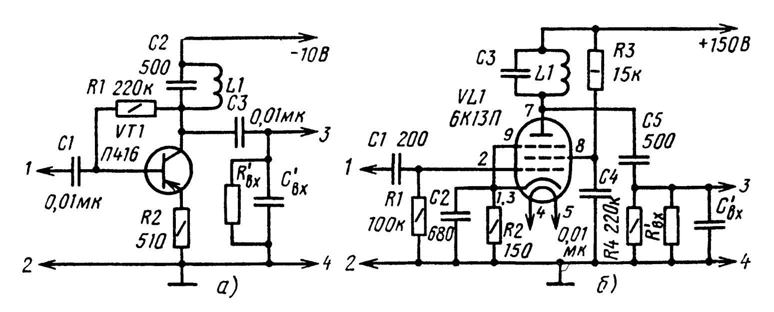


Рис. 42. Резонансные усилители:
а — на транзисторе; *б* — на лампе

L1C2 оказывается присоединенным выходное сопротивление транзистора VT1. Это сравнительно малое сопротивление (10 ... 20 кОм) несколько ухудшает параметры каскада, делая более пологими склоны его частотной характеристики. Увеличение входной емкости $C'_{вх}$ приводит к смещению резонансной частоты контура в сторону более низких частот, но форма резонансной кривой при этом не изменяется.

Ламповый резонансный усилитель. В резонансном усилителе на лампах обычно используют высокочастотные пентоды. Типовая принципиальная схема однокаскадного резонансного усилителя радиочастоты лампового радиоприемника показана на рис. 42,*б*. Назначение его деталей разъяснено в предыдущих разделах. Следует отметить, что в сравнении с аналогичным усилителем на транзисторе ламповый каскад может обеспечить большее усиление, так как, имея высокое выходное сопротивление, он в меньшей степени шунтирует колебательный контур.

Для проверки лампового резонансного усилителя необходимы фабричные приборы. Однако его работоспособность в неработающем радиоприемнике можно проверить с помощью осциллографа. Для этого к входу осциллографа подключают высокочастотный пробник.

Переключатель SA1 устанавливают в положение «Усилитель». Пробник подключают к аноду лампы резонансного каскада. Подключив к приемнику антенну, вращают ручку настройки, следя за экраном осциллографа. Если проверяемый каскад и предыдущие узлы приемника исправны, то при настройке на мощную станцию на экране появится хаотически движущееся изображение модулирующего сигнала радиостанции. Если этого нет, пробник соединяют с управляющей сеткой лампы. Появление на экране изображения модулирующего сигнала укажет на неисправность в проверяемом каскаде.

3.6. Детектор

Детектор используют в радиоприемниках и телевизорах для преобразования высокочастотных модулированных колебаний в колебания модулирующего сигнала. С помощью детектора из поступающего в приемное устройство высокочастотного сигнала «извлекают» сигналы звуковой частоты или видеосигналы, т. е. сигналы изображения. В зависимости от вида модуляции высокочастотного сигнала используют амплитудный детектор или детектор частотно-модулированных колебаний. Будем далее рассматривать работу амплитудного детектора, имеющего наибольшее применение.

Функциональная схема его показана на рис. 43,*а*. Здесь $U_{вх}$ — сигнал высокой частоты $U_{вч}$, модулированный по амплитуде напряжением звуковой частоты $U_{зч}$; $U_{вых}$ — напряжение звуковой частоты, выделяемое на выходе детектора; $R_{вх}$, $C_{вх}$ — входное сопротивление и емкость детектора, т. е. сопротивление между контактами 1 и 2, на которое нагружен предыдущий каскад; $R'_{вх}$, $C'_{вх}$ — входное сопротивление и емкость последующего каскада. Если ко входу 1, 2 детектора подвести высокочастотный модулированный сигнал, то на выходе 3, 4 детектора появятся колебания, повторяющие по форме модулирующий сигнал.

Основным показателем детектора является коэффициент передачи напряжения $K_{д}$, характеризующий эффективность детектора, его способность преобразовывать поступивший на вход модулированный высокочастотный сигнал в

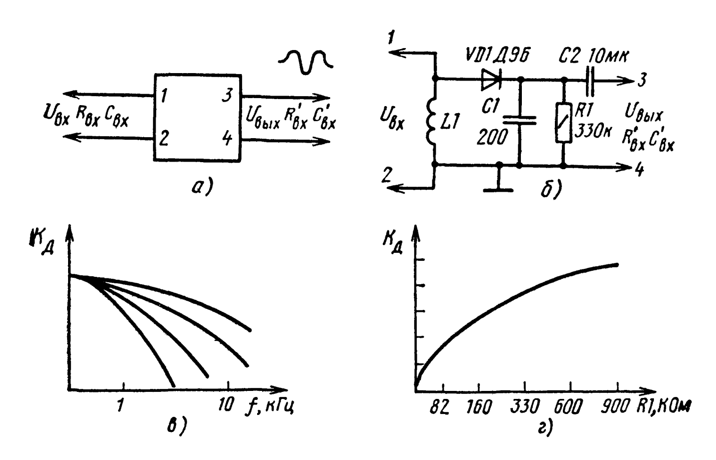


Рис. 43. Детектор:
а — функциональная схема; *б* — принципиальная схема; *г* — амплитудно-частотная характеристика; *в* — зависимость коэффициента передачи от сопротивления нагрузки

сигнал низкой частоты. Чем больше значение $U_{вых}$ детектора при неизменных параметрах модулированного сигнала $U_{вх}$, тем лучше эффект детектирования и выше коэффициент передачи напряжения детектора. В приемных устройствах почти повсеместно используются полупроводниковые диоды. Поскольку диод не является усилительным элементом, при диодном детектировании возникают определенные невосполнимые потери, и коэффициент передачи диодного детектора всегда меньше единицы.

Другим важным показателем детектора является амплитудно-частотная характеристика, показывающая зависимость коэффициента передачи $K_д$ от частоты модулирующего сигнала F при постоянных значениях уровня высокочастотного сигнала $U_{вч}$ и коэффициента модуляции M (%). Эта характеристика по форме подобна характеристике усилителя звуковой частоты. За ее граничные частоты принимают частоты $F_н$ и $F_в$, при которых коэффициент передачи снижается примерно на 30%. Интервал между $F_в$ и $F_н$ представляет собой полосу выделенных детектором частот. Если детектор используют для выделения напряжения звуковых частот, то, подобно усилителю напряжения звуковой частоты, его характеристика должна простираться до 15...20 кГц. В случае использования детектора в телевизоре для получения видеосигнала полоса пропускания детектора должна быть около 7 МГц. Для получения столь широкой полосы сопротивление и емкость нагрузки детектора в канале изображения телевизора должны быть в десятки раз меньшими, чем в вещательном приемнике.

Для диодного детектора имеет значение и такой показатель, как входное сопротивление. При малом входном сопротивлении колебательный контур, нагруженный на детектор, сильно шунтируется, его избирательность ухудшается, снижается коэффициент усиления каскада перед детектором. Входное сопротивление детектора увеличивается при увеличении сопротивления его нагрузки.

Принципиальная схема диодного детектора, используемого в радиоприемниках, приведена на рис. 43,*б*. На катушку L1 (точки 1, 2) поступает от предыдущего каскада высокочастотный модулированный сигнал. Диод VD1 про-

пускает положительные полуволны этого сигнала, и в цепи детектора возникает пульсирующий ток, среднее значение которого меняется с частотой F модулирующего напряжения, т. е. с напряжением звуковой частоты. Резистор R1 является сопротивлением нагрузки диода; на нем выделяется напряжение звуковой частоты $U_{вых}$. Чтобы «отделить» его от высокочастотных составляющих, которые могут проникнуть в нагрузки и создать помехи, установлен конденсатор C1. Емкость его подбирают такой, чтобы сопротивление конденсатора на высоких частотах было ничтожно малым. Тогда высокочастотные составляющие, замыкаясь на конденсаторе, не попадут в нагрузку. Вместе с тем для звуковых частот сопротивление конденсатора должно быть в 10 ... 20 раз больше сопротивления нагрузки, чтобы не ослаблялся полезный сигнал. Если бы на детектор подавалось немодулированное высокочастотное напряжение, то диод вел бы себя так же, как в обычном выпрямителе: на резисторе R1 в этом случае появилось бы постоянное напряжение тем большее, чем больше амплитуда высокочастотного сигнала. Конденсатор C2 является разделительным. Присоединяемое к выходу детектора устройство должно иметь возможно большее сопротивление $R_{вх}$. В противном случае коэффициент передачи $K_д$ уменьшится, эффективность детектирования ухудшится.

В детекторе можно использовать любые высокочастотные диоды, причем полярность их включения не имеет значения (кроме видеодетекторов). Если к выходу детектора присоединяется транзисторный усилитель звуковой частоты, то емкость разделительного конденсатора C2 должна быть 10 ... 100 мкФ. В случае использования лампового усилителя достаточна емкость 0,005 ... 0,015 мкФ. Катушку L1 наматывают на каркасе диаметром 8 мм. Она содержит около 1000 витков провода ПЭВ 0,1, намотанных внавал, ширина намотки 10 ... 15 мм. Концы катушки закрепляют липкой лентой.

Макет детектора проверяют с помощью осциллографа (переключатель SA1 в положении «Пластины»), ГЗЧ и ГВЧ. Общие шины детектора и приборов соединяют между собой. Включив приборы, подают сигнал частотой 1 кГц от ГЗЧ на гнездо X1 ГВЧ. С его гнезда X4 сигнал подают на катушку L1 детектора. С этой же точкой соединяют вход осциллографа, на экране которого должно появиться изображение модулированного высокочастотного сигнала (см. рис. 2,*г*). Регулируя ГЗЧ, устанавливают по изображению коэффициент модуляции $M \triangleq 0{,}3$ (такое значение принято при измерениях в детекторе). Для этого регулируют выходное напряжение ГЗЧ, так чтобы значение $U_{зч}$ (количество делений на масштабной сетке) составило $0{,}3U_{вч}$ (также в делениях). Затем вход осциллографа соединяют с верхним выводом резистора R1. На экране должна появиться осциллограмма модулирующего напряжения $U_{вых}$. Измерив его амплитудное значение и зная амплитуду высокочастотного напряжения $U_{вч}$, определяют коэффициент передачи детектора по формуле $K_д = U_{вых}/(MU_{вч})$.

Уменьшив сопротивление R1 на 50 и 75%, затем увеличив на 100 и 200%, определяют в каждом случае коэффициент передачи детектора и строят график (рис. 43,*г*). После этого определяют значение $K_д$ на высшей модулирующей частоте 10 кГц при всех указанных значениях R1. По результатам измерений строят график (рис. 43,*в*), из которого можно заключить, что амплитудно-частотная характеристика детектора имеет тем большую неравномерность, чем больше сопротивление резистора R1. Увеличение емкости конденсатора C1 также приводит к завалу характеристики на высоких частотах.

В заключение следует установить, как влияет изменение сопротивления нагрузки детектора на его входное сопротивление. Входное сопротивление детектора можно определить упрощенным способом: ко входу детектора, соединенному с выходом ГВЧ, подключают осциллограф в режиме «Пластины». По делениям масштабной сетки подсчитывают вертикальный размер осциллограммы. Генератор звуковой частоты отключают от ГВЧ и на вход детектора подают немодулированный сигнал высокой частоты (от ГВЧ). На экране осциллографа будет видна горизонтальная полоса. По делениям на масштабной сетке определяют вертикальный размер полосы. При номинальном сопротивлении R1 ко входу детектора присоединяют вспомогательный резистор. Его сопротивление подбирают таким, чтобы вертикальный размер осциллограммы уменьшился ровно вдвое. Это произойдет при примерном равенстве входного сопротивления детектора и вспомогательного резистора. Далее измеряют значение R1 и снова подбирают сопротивление вспомогательного резистора, по которому находят новое входное сопротивление, и т. д. В итоге будет получена интересующая нас зависимость.

3.7. Генераторы

Для экспериментов с генераторами можно использовать описанные ранее ГЗЧ, ГВЧ и ГИ. Ограничимся проверкой ГЗЧ и ГИ. Целью проверки является определение возможности получения новых выходных параметров ГЗЧ и ГИ (см. рис. 25 и 26). Для изменения частоты ГЗЧ необходимо подобрать новые значения резисторов и конденсаторов, образующих фильтр (например, R1—R3 и C1—C3). При подборе необходимо осуществлять пропорциональное изменение данных деталей. Например, если сопротивление резистора R1 уменьшится в 2 раза, то во столько же раз нужно уменьшить сопротивление R3, и т. д. Изменения частоты и формы импульсов ГИ достигают за счет изменения емкости конденсаторов C1, C2 и (или) сопротивлений R2—R4. Чтобы уже изготовленные генераторы сохранить в качестве законченных устройств, рекомендуется специально для экспериментов собрать по приведенным схемам ГЗЧ и ГИ новые макеты.

Глава 4

ПРОВЕРКА РАДИОАППАРАТУРЫ

С помощью описанных приборов можно найти и устранить не слишком сложные неисправности в радиоприемнике, телевизоре, магнитофоне и другой радиоппаратуре бытового назначения. Естественно, в зависимости от знаний, имеющихся у радиолюбителя, объем проверки может быть бо́льшим или меньшим, но в любом случае, рáботая со своими приборами, он получит полезные навыки, необходимые как для налаживания и ремонта, так и для конструирования радиоаппаратуры.

В процессе проверки радиолюбитель должен обнаружить место (узел, блок), где находится неисправность, найти поврежденную деталь и в зависи-

мости от степени повреждения либо заменить ее, либо обратиться за помощью к более квалифицированному специалисту, задача которого значительно упростится, так как ему не придется повторно искать место повреждения. Когда выходит из строя, чрезмерно нагревшись, резистор, то уже поверхностный осмотр аппарата позволяет без труда обнаружить неисправность или, во всяком случае, место неисправности. Часто неисправности не удается обнаружить внешним осмотром, но имеются общие методы их нахождения, которые должен знать радиолюбитель, приступающий к проверке своего радиоприемника, телевизора, усилителя.

Работу начинают с ознакомления с принципиальной схемой аппарата и изучения инструкции по ремонту, если она имеется. По схеме необходимо определить, как взаимодействуют узлы и каскады, иаметить последовательность разборки аппарата. В ламповой конструкции, где отсутствует световой индикатор включения, о включении можно судить по нагреву радиоламп и свечению нитей накала. В аппарате на полупроводниковых приборах индикатор включения имеется не всегда, поэтому, если аппарат не работает, то прежде всего следует проверить предохранитель, шнур питания, наличие контактов в колодце переключения сетевого напряжения. Извлекать предохранитель из гнезда для проверки необходимо только при отсоединенном от электросети шнуре питания. Еще раз подчеркнем, что при работе с радиоустройствами необходимо строго соблюдать правила техники безопасности!

После извлечения шасси из корпуса осмотром устанавливают, нет ли следов чрезмерного нагрева деталей, вытекания электролита из электролитических конденсаторов. Для проверки сомнительной детали следует отпаять один из ее выводов, если это резистор, конденсатор, диод или моточное изделие с двумя выводами, и после этого измерить сопротивление или емкость, проверить отсутствие обрыва в диоде, трансформаторе или короткого замыкания в этих деталях. Если деталь имеет несколько выводов, например транзистор, трансформатор с несколькими обмотками, то прежде чем ее проверить необходимо отпаять все выводы (кроме какого-то одного), навесить на отпаянные концы бумажные бирки с обозначением места пайки, а затем произвести проверку. При проверке деталей, размещенных на печатных платах, следует иметь в виду что платы нередко покрывают изоляционным лаком. Поэтому для надежного контакта щуп измерительного прибора должен быть заострен, чтобы им можно было проколоть слой лака, освободив доступ к выводу детали.

Если путем осмотра неисправность обнаружить не удалось, приступают к проверке аппарата с помощью описанных приборов. Ее обычно начинают с выпрямителя, продвигаясь от выходных узлов к предыдущим вплоть до входных цепей. Если в распоряжении радиолюбителя имеется электромонтажная схема аппарата, его узлов или блоков, то это может ускорить отыскание неисправности.

Перед проверкой лампового устройства лампы в подозреваемом участке заменяют заведомо исправными, и ремонт может не потребоваться. Последовательность проверки сложной аппаратуры устанавливают исходя из следующих соображений. Если, например, в радиоприемнике при исправном блоке питания и подключенной антенне отсутствует звук, нет смысла начиниать его проверку с входных каскадов. Естественно, нужно обратить внимание в первую очередь на выходную часть: проверить, нет ли обрыва в звуковой катушке динамической головки, в цепях, соединяющих динамическую головку с

выходным каскадом УЗЧ, неисправности в выходном оконечном каскаде, в предыдущем каскаде усиления звуковой частоты и т. д. Если в телевизоре при наличии звука и ярком экране отсутствует изображение, то нужно проверить цепи, соединяющие выходной каскад видеоусилителя с кинескопом, затем сам выходной каскад, далее его входные цепи и т. д. Говоря иначе, направление проверки должно быть от выхода устройства в сторону его входа.

Проверка радиоприемника или телевизора состоит из следующих этапов:

пробником проверяют отсутствие замыканий в источнике питания на его выходе (между положительным и отрицательным полюсами), между проводами или шинами, подводящими напряжение питания к устройству и ее отдельным участкам;

от участка, где сигнал должен быть, но не обнаруживается, продвигаясь в сторону предшествующих каскадов, проверяют с помощью осциллографа покаскадно все пути прохождения сигнала. В качестве источника испытательного сигнала используют в зависимости от предполагаемого характера неисправности антенну, звукосниматель, ГВЧ, ГЗЧ, ГИ;

место или участок, где сигнал пропадает, тщательно изучают (проверяют отсутствие обрывов, замыканий в соединительных проводах, в контактах переключателей, разъемах, гнездах, ламповых панелях, в деталях); оценивают качество пайки, изготовления печатных плат (нет ли отслоений токопроводящих участков на плате, трещин и других видимых дефектов);

затем включают питание аппарата и измеряют напряжения в обычно указываемых на схемах промышленных устройств точках; проверяют транзистор, установленный на рассматриваемом участке. Поскольку полная проверка транзистора является делом достаточно сложным, проще заменить его новым, заведомо исправным.

Выполнив перечисленные действия, обычно можно устранить возникшие в радиоаппаратуре неисправности. Конечно, неполадки бытовой радиоаппаратуры промышленного производства, как и любых радиоэлектронных приборов, могут быть самого разного характера, а перечисление всех неисправностей, встречающихся в этих устройствах, вряд ли было бы возможно. Однако приведенные примеры помогут радиолюбителю получить начальные знания для отыскания неисправностей.

Проверка электрофона «Рондо-203». Функциональная схема электрофона приведена на рис. 44. Напряжение от источника сигнала (магнитофона, трансляционной линии и т. п.) через контакты переключателя SA1 поступает на вход первого каскада УЗЧ (транзистор VT1). Второй каскад выполнен на транзисторах VT2, VT3; в нем частотная характеристика корректируется в низкочастотном и высокочастотном участках полосы частот усилителя. В последующих каскадах усиления напряжения звуковой частоты используются транзисторы VT4, VT5. Усилитель мощности собран на транзисторах VT6, VT7 (каскад предварительного усиления) и V78, VT9 (оконченный каскад). Нагрузкой усилителя служит сопротивление звуковых катушек динамических головок BA1 и BA2. Напряжение питания поступает на усилитель с выпрямителя на диодах VD1—VD4. Стабилизация напряжения питания отсутствует.

Предположим, неисправность проявляется в том, что при включении электрофон «молчит», хотя индикатор включения светится. Молчит он при любом режиме работы: проигрывании грамзаписи, подключении трансляционной линии и т. д. Отсоединив аппарат от сети, проверяют, нет ли обрыва в цепи, соеди-

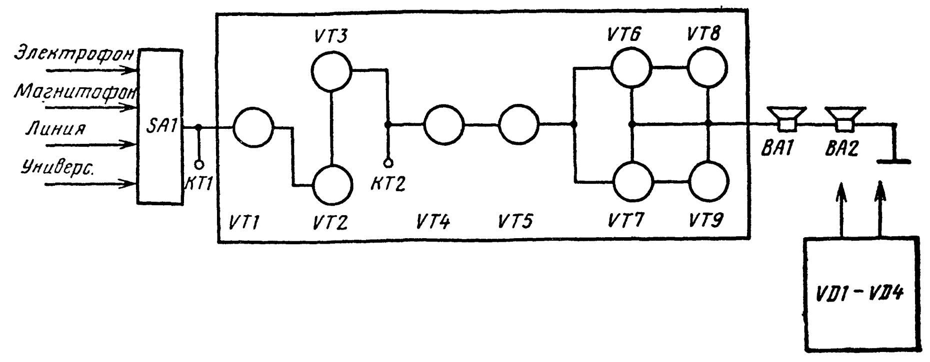


Рис. 44. Функциональная схема электрофона «Рондо-203»

няющей транзисторы VT8, VT9 с динамическими головками. Вполне возможно, что электрофон исправен, но из-за нарушений в указанной цепи сигнал не доходит до головок. Проверку ведут с помощью пробника. Один из проводов соединяют с левым по схеме выводом динамической головки BA1, а вторым последовательно прикасаются к участкам цепи, соединяющей динамические головки с точкой соединения транзисторов VT8, VT9. Если цепь оборвана, необходимо просмотреть ее дальнейшие участки, найти место обрыва и устранить неисправность. Найти обрыв в этой цепи нетрудно — он может быть в месте припайки проводов на разъеме или в звуковых катушках головок.

Далее проверяются выпрямители, хотя вероятность короткого замыкания в них мала (иначе вышел бы из строя предохранитель). Концы пробника соединяют с выходом выпрямителя. В момент присоединения стрелка пробника должна отклониться до нуля, а затем, по мере зарядки конденсатора фильтра напряжением от пробника, батареи, вернуться в положение «∞». Из этого можно заключить, что короткого замыкания на выходе выпрямителя нет. Проверку цепи целесообразно повторить, поменяв местами концы пробника. Если обнаружено короткое замыкание, его местонахождение может быть в элементах выпрямителя или в остальной части устройства. Отпаяв от нее отрицательный вывод выпрямителя, вновь проверяют пробником цепи выпрямителя. Если замыканий не обнаружено, то, не отсоединяя пробник, восстанавливают соединение выпрямителя с остальной частью устройства. Если при этом пробник укажет на замыкание, значит, оно произошло в устройстве, которое надо проверить тем же пробником.

Если обнаружено замыкание в выпрямителе, то следует проверить пробником конденсаторы фильтра и диоды выпрямителя. Попутно отметим, что при замыканиях в конденсаторах диоды, как правило, выходят из строя. Для их проверки один из концов каждого диода отпаивают. Продолжая проверку, включают осциллограф и ГЗЧ, общую шину электрофона соединяют с общими шинами осциллографа и ГЗЧ. Электрофон включают в сеть, с помощью осциллографа измеряют постоянное напряжение на конденсаторах фильтра и на печатных проводниках монтажной платы. Затем на контрольную точку КТ2 подают напряжение от ГЗЧ с частотой 1 кГц. Если звук в динамических головках не появится, то с помощью осциллографа проверяют наличие и форму сигнала от ГЗЧ на коллекторах транзисторов VT4, VT5 и эмиттерах транзи-

сторов VT6—VT9. Найдя транзистор, на электроде или электродах которого нет сигнала, проверяют его режим, детали «обрамления» и устраняют найденную неисправность.

Если проверенная часть устройства исправна и звук имеется, подают напряжение от ГЗЧ на контрольную точку КТ1. Громкий, неискаженный звук в динамических головках при нормальной работе регуляторов громкости и тембра будет свидетельствовать, о том, что молчание электрофона объясняется нарушением контактов в входных цепях, где установлен кнопочный переключатель. В этом случае сравнительно просто отыскать место неисправности с помощью пробника. Если подключение ГЗЧ ко входу усилителя (точка КТ1) не привело к появлению звука, то проверку усилителя продолжают покаскадно. Как и в предыдущем случае, вход осциллографа поочередно соединяют с коллектором транзистора VT3, затем с его базой, далее с базой транзистора VT2, коллектором VT1. Обнаружив узел, где пропадает сигнал ГЗЧ, проверяют его детали, используя осциллограф и пробник.

Найдя неисправность, устраняют ее и проверяют работу электрофона при воспроизведении грамзаписи и от других источников сигнала.

Проверка радиоприемника «Серенада-405». Функциональная схема радиоприемника приведена на рис. 45.

Сигнал, принятый антенной, поступает на систему входных контуров с переключателем диапазонов SA1 и далее на вход преобразователя частоты, в котором используются транзисторы VT1 (смеситель) и VT4 (гетеродин). Напряжения сигнала и гетеродина подаются на базу транзистора VT1. Диапазон выбирается переключением входных контуров и контуров гетеродина с помощью механически связанных переключателей SA1 и SA2. На выходе первого каскада выделяется сигнал промежуточной частоты. Усилитель сигналов промежуточной частоты собран на транзисторах VT2 и VT3. С его выхода сигнал промежуточной частоты поступает на детектор, выполненный на диоде VD1. Полученный в результате детектирования сигнал звуковой частоты поступает на вход усилителя, который собран на транзисторах VT5—VT7. При воспроиз-

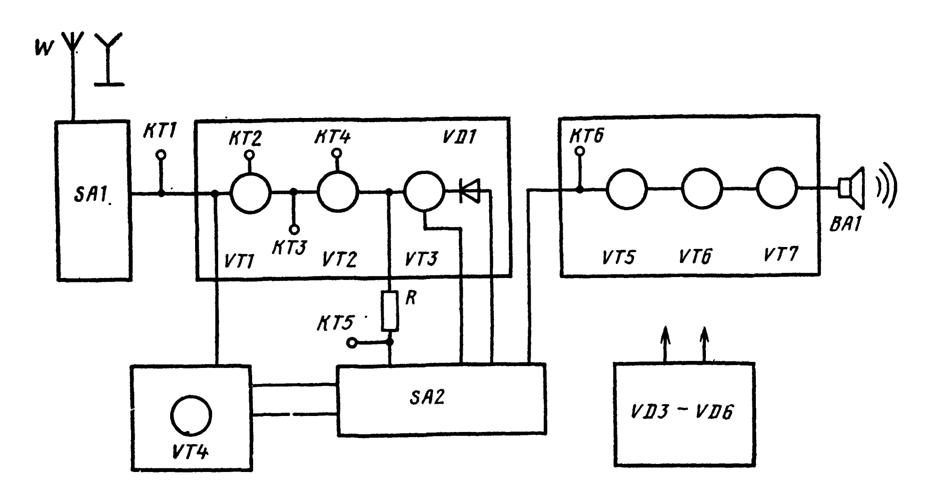


Рис. 45. Функциональная схема радиоприемника «Серенада-405»

ведении грамзаписи используется добавочный каскад УЗЧ на транзисторе VT3, исполняющий двоякую роль: при радиоприеме — усиление промежуточной частоты, при воспроизведении грамзаписи — усиление звуковой частоты. В последнем случае сигнал от звукоснимателя через развязывающий резистор R подается на базу транзистора VT3, усиливается и через контакты переключателя SA2 в положении «Грамзапись» поступает на вход УЗЧ VT5—VT7. В коллекторную цепь транзистора VT7 включена динамическая головка BA1. Радиоприемник питается от выпрямителя на диодах VD3—VD6.

Предположим, неисправность приемника проявляется в том, что при его включении в сеть не обеспечивается ни радиоприем, ни воспроизведение грамзаписи. Свечение индикатора включения показывает, что предохранитель цел. Проверку начннают с общего осмотра радиоприемника. Затем проверяют выпрямитель на отсутствие замыканий. С этой целью при отключенной сети присоединяют пробник к выходу фильтра. Убедившись, что замыкания нет приступают к проверке приемника во включенном состоянии. Измеряют напряжение на выходе фильтра, которое должно быть ие меньше 20 В, и на печатных проводниках монтажной платы. Начинать с измерения постоянных напряжений на транзисторах и других участках устройства при наличии осциллографа нет необходимости, поскольку неисправности могут иметь место и при соблюдении требуемых режимов. Проверка осциллографом наличия сигналов на радиоэлементах наглядным образом укажет местонахождение неисправности, где и потребуется провести измерения.

Установив регулятор громкости на наибольшую громкость, соединяют вход осциллографа с контрольной точкой КТ6. Переключатель диапазонов устанавливают в положение «ДВ». Вращая ручку настройки, следят за линией развертки на экране. Осциллограф в данном случае используется как индикатор сигнала на выходе детектора. Если приемник настроен на станцию, на экране появятся хаотические линии, исчезающие при расстройке приемника. Это свидетельствует о работоспособности его высокочастотной части. Для проверки усилителя звуковой частоты (транзисторы VT5—VT7) на контрольную точку КТ6 подают сигнал от ГЗЧ. Регулятор громкости приемника устанавливают в положение наибольшей громкости. Если при вращении регулятора «Выход» ГЗЧ появится громкий неискаженный звук, значит, низкочастотная часть приемника работает нормально и неисправен, скорее всего, переключатель SA2 (обрыв проводов, поломка или окисление контактов и пр.). Находят место нарушения контакта с помощью пробника, прозванивая подозреваемую цепь или деталь.

Отсутствие звука говорит о возможной неисправности усилителя. В этом случае вход осциллографа подключают к базе транзистора VT5, потом к его коллектору, затем к базе и эмиттеру транзистора VT6 и, наконец, к коллектору транзистора VT7. Если сигнал имеется на всех электродах, кроме коллектора последнего транзистора, и постоянное напряжение на коллекторе понижено, то причиной этого может быть, скорее всего, неисправность транзистора или замыкание в конденсаторе С34. Если сигнала нет на электродах транзистора другого каскада, то проверяют детали этого каскада, надежность соединений и в последнюю очередь — транзистор. Заменив неисправные детали и добившись громкого неискаженного звука, ГЗЧ отключают и проверяют приемник при радиоприеме и воспроизведении грамзаписи. Убедившись в его нормальной работе, заканчивают проверку. Если же при исправном УЗЧ не

работает высокочастотная часть, то проверку ее ведут покаскадно, используя осциллограф с высокочастотным пробником. Подключив пробник к коллектору транзистора VT3, пытаются настроить приемник на сигналы мощной радиостанции на длинноволновом диапазоне, используя осциллограф в качестве индикатора настройки. Не добившись приема, соединяют ВЧ пробник с коллектором транзистора VT2 (к контрольной точке КТ3), затем с коллектором VT1 (контрольная точка КТ2). Обнаружив каскад, в котором сигнал «не проходит», уточняют место неисправности, устраняют ее и проводят полную проверку.

Если описанным способом обнаружить сигнал не удается, то необходимо проверить гетеродин (транзистор VT4). К коллектору транзистора через конденсатор емкостью 20 пФ присоединяют осциллограф. Его переключатель SA1 переводят в положение «Пластины», частоту развертки устанавливают наивысшей. При работающем гетеродине на экране осциллографа появится осциллограмма колебаний гетеродина (10...15 периодов). После этого, чтобы полностью убедиться в исправности гетеродина, подключают, проявляя осторожность, сначала к общей шине, а потом к базе транзистора VT4 выводы вспомогательного конденсатора емкостью 0,1...0,5 мкФ. Если при этом произойдет срыв колебаний, а при отсоединении конденсатора они возникнут вновь, то это означает, что гетеродин работает более или менее нормально и неисправность следует искать в соединительных цепях и переключателе диапазонов, что не представляет большого труда.

Отметим в заключение, что в радиоприемнике проверкой были охвачены достаточно полно все каскады.

Проверка телевизионного приемника. Для проверки в качестве примера используем ламповую конструкцию. В этом случае значительно уменьшится опасность случайной порчи деталей, например транзисторов. Известно, что случайное прикосновение металлическим предметом (пинцетом) к выводу транзистора или к какой-либо расположенной рядом детали при скученном монтаже может мгновенно вывести транзистор из строя. В этом смысле ламповая конструкция имеет большое преимущество, поскольку радиолампы не столь чувствительны к перегрузкам. Удобно использовать черно-белый телевизор типа УЛПТ-61, к которому относится модель «Славутич-218» и который достаточно широко распространен. Наряду с лампами в нем применяются и полупроводниковые приборы.

Из-за ограниченности объема книги принципиальная схема телевизора и ее описание не приводятся. Порядок проверок поясняется с помощью функциональной схемы, приведенной на рис. 46. Функциональная схема составлена на основе принципиальной схемы без учета ряда второстепенных устройств. Телевизор состоит из нескольких узлов, основные из которых: У1 — узел селектора каналов; У2 — узел усилителя промежуточной частоты (ПЧ) изображения и звука; У3 — узел усилителя ПЧ частоты звука; У4 — узел синхронизации и разверток; У5 — узел питания. Телевизионный сигнал поступает из антенны на вход узла У1 селектора каналов метрового диапазона (в случае приема на 1—12 каналах), преобразуется в нем в сигналы промежуточных частот изображения и звука, которые подаются на вход узла У2.

В узле 2 находятся лампы VL2, VL3 и транзисторы VT1, VT2 усилителя ПЧ изображения и звука, амплитудный детектор VD1, лампа VL4 для усиления видеосигналов и формирования напряжения автоматической регулировки усиления. В этом узле телевизионный сигнал, включающий сигналы

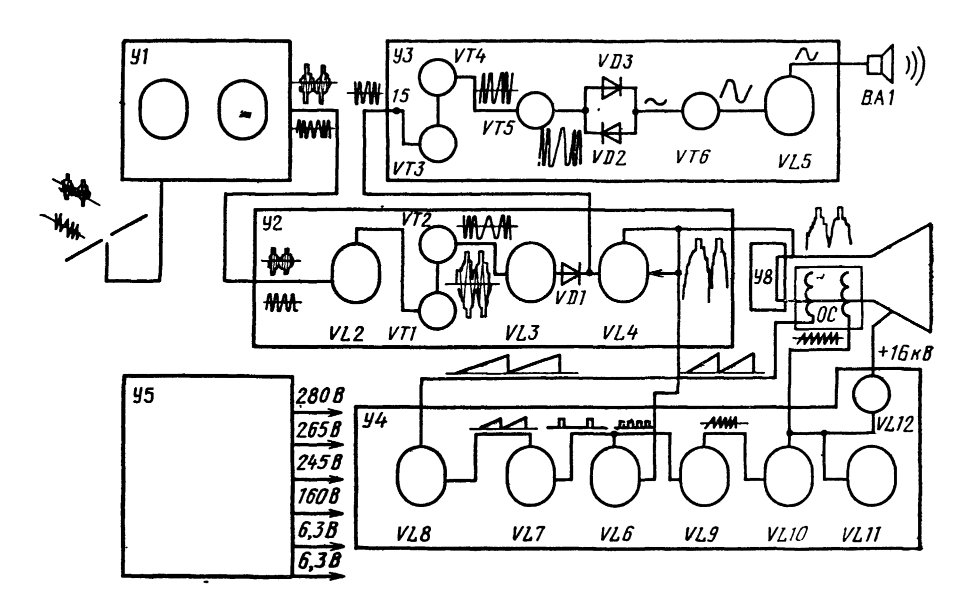


Рис. 46. Функциональная схема телевизора «Славутич-218»

изображения, ПЧ звука и синхронизации, проходит следующий путь. Поступив на управляющую сетку лампы VL2, он усиливается и с ее анода через систему контуров поступает на вход второго каскада усиления на транзисторах VT1,VT2. Эти транзисторы включены последовательно. Входом каскада служит база транзистора VT1, выходом — коллектор транзистора VT2. С выхода каскада сигнал подается на управляющую сетку лампы VL3 третьего, последнего каскада усиления ПЧ. С анода лампы через контурные цепи сигнал поступает на амплитудный детектор VD1, в котором выделяется видеосигнал и он отделяется от сигналов ПЧ звука.

Сигналы ПЧ звука поступают на вход узла 3 для последующей обработки. Видеосигнал поступает на управляющую сетку левого по схеме пентода комбинированной лампы VL4. С его анода усиленный видеосигнал направляется на катод кинескопа на вход узла 4 для извлечения из видеосигнала содержащихся в нем синхронизирующих импульсов, а также на вход устройства формирования напряжения автоматической регулировки усиления, собранный на правом по схеме пентоде VL4.

В узле 3 установлены транзисторы VT3—VT5 усилителя ПЧ звука, частотный детектор VD2, VD3, транзистор VT6 и лампа VL5 усилителя звуковой частоты. Сигнал ПЧ звука с выхода видеодетектора узла 2 поступает на базу транзистора VT3 и снимается с коллектора транзистора VT4 (этот каскад подобен каскаду на транзисторах VT1, VT2 в узле 2). Поступив на второй каскад (транзистор VT5), сигнал ПЧ звука дополнительно усиливается и через систему контуров подается на частотный детектор (диоды VD2, VD3), где преобразуется в сигнал звуковой частоты. С выхода детектора сигнал звуковой частоты поступает на регулятор громкости, а с него — на базу транзистора VT6 усилителя напряжения звуковой частоты. С коллектора транзистора VT6 напряжение поступает на управляющую сетку лампы VL5 выходного

каскада. В анодной цепи лампы VL5 установлен трансформатор, со вторичной обмоткой которого соединена звуковая катушка динамической головки.

В узле 4 установлены лампы VL6 селектора (выделителя) синхронизирующих импульсов, VL7 и VL8 генератора кадровой развертки, VL9—VL11 генератора строчной развертки. На корпусе строчного трансформатора установлена лампа VL12 высоковольтного выпрямителя. Особенность узла 4 состоит в том, что он может нормально работать в отсутствие телевизионного сигнала. Последний только задает, «диктует» генераторам строк и кадров частоту, на которой они должны работать при приеме телевизионных передач.

Пути прохождения сигналов в узле 4 следующие. Видеосигнал с анода лампы VL4 (узел 2) поступает на управляющую сетку пентодной части лампы VL6, а с ее анода — на управляющую сетку ее же триодной части. В анодной цепи триода выделяются импульсы для синхронизации генератора строчной (строчные синхроимпульсы) и кадровой (кадровые синхроимпульсы) развертки. Строчные импульсы через соответствующие цепи поступают на двойной триод VL9, вырабатывающий напряжение пилообразной формы с частотой строк. Это напряжение подается на управляющую сетку лампы VL10 выходного каскада строчной развертки. Лампы VL9 и VL10 образуют генератор строчной развертки, частота которого при приеме сигналов телецентра задается селектором синхроимпульсов и равна частоте строчных синхроимпульсов. В анодной цепи лампы VL10 включен выходной строчный трансформатор с несколькими обмотками. К одной из них, повышающей, подключена лампа VL12 выпрямителя напряжения 16 ... 18 кВ для питания анода кинескопа. С другой соединены строчные отклоняющие катушки, обеспечивающие отклонение луча в горизонтальном направлении.

Для улучшения формы пилообразного тока в строчных катушках и предотвращения в их цепях колебательного процесса, что проявлялось бы на изображении в виде вертикальных темных и белых полос в левой части экрана, используется лампа VL11, с помощью которой паразитные колебания гасятся. Высвобождаемая при этом электрическая энергия преобразуется в постоянное напряжение, называемое вольтодобавкой. Напряжение вольтодобавки суммируется с напряжением выпрямителя и достигает 700 ... 1000 В. Это напряжение используется для питания электродов кинескопа и отдельных цепей генератора кадровой развертки.

Кадровые синхроимпульсы с анода триода лампы VL6 поступают на двойной триод VL7, создающий пилообразное напряжение кадровой частоты. Это напряжение с анода левого по схеме триода подается на управляющую сетку выходного каскада кадровой развертки на лампе VL8. Как и в предыдущем случае, лампы VL7 и VL8 образуют генератор кадровой развертки, частотой которого также управляет селектор импульсов синхронизации — каскад на лампе VL6. В анодной цепи лампы VL8 включен трансформатор, к вторичной обмотке которого присоединены кадровые отклоняющие катушки, перемещающие луч кинескопа в вертикальном направлении. Кадровые и строчные катушки установлены на общем основании и образуют обособленный конструктивный узел — отклоняющую систему (ОС).

Узел 5 является узлом питания телевизора и обеспечивает получение напряжений переменного тока для питания накала ламп, напряжений постоянного тока (шесть номиналов) и др.

Проверку телевизора, отыскание и устранение возникших в нем неисправностей производят с учетом изложенной ранее последовательности проверки или отыскания неисправности. Начнем с наиболее часто встречающихся неисправностей телевизора.

Антенна исправна, предохранители целы, есть изображение — нет звука. Воспользуемся функциональной схемой для предварительных выводов. Поскольку изображение имеется, значит, сигнал ПЧ изображения и звука проходит без нарушений по цепям узла 2 и теряется где-то после выхода за его пределы. Маловероятен, но не исключен обрыв соединительных цепей, по которым сигнал от платы узла 2 должен поступать к плате узла 3. Эту цепь прозванивают пробником. Если она цела, то возможное место неисправности находится, видимо, в узле 3. Измеряют осциллографом постоянное напряжение, имеющееся на плате узла. Если его нет, выключив телевизор, прозванивают пробником соответствующие цепи и находят обрыв.

Далее проверку ведут при включенном телевизоре (и с учетом требований техники безопасности!). Регулятор громкости устанавливают на наибольшую громкость. Осциллограф с переключателем SA1 в положении «Усилитель» соединяют последовательно с анодом лампы VL5, ее управляющей сеткой, коллектором транзистора VT6. Таким путем находят место повреждения в усилителе звуковой частоты. Не найдя его, присоединяют к входу осциллографа высокочастотный пробник и подключают его к коллектору транзистора VT5, а затем к базе VT5, к коллектору транзистора VT4, к базе транзистора VT3 и, наконец, к контакту 15 на плате узла 3. Если пробник присоединен к исправному участку, то на экране осциллографа изобразится сигнал, пропадающий при переключении селектора каналов или отсоединении антенны. Найдя место неисправности, определяют, как описано ранее, конкретный дефект и устраняют его.

Антенна исправна, предохранители целы, есть звук, изображение отсутствует. Наличие звука говорит о том, что сигнал ПЧ изображения и звука усиливается нормально (иначе не было бы звука). Неисправность возможна на участке от детектора до кинескопа. Сначала измеряют осциллографом постоянные напряжения на электродах левого по схеме пентода лампы VL4. Если на каком-либо электроде напряжения нет или оно значительно меньше указанного на схеме, проверяют цепи, по которым напряжения подаются на электроды лампы. Если требуемые напряжения имеются, осциллограф присоединяют к аноду пентода, а в случае отсутствия там сигнала — к его управляющей сетке, затем к диоду VD1 детектора, т. е. к контрольной точке КТ10 на принципиальной схеме телевизора. Если сигнал имеется на аноде пентода, а изображение отсутствует, необходимо, используя пробник (омметр) и осциллограф, просмотреть всю цепь от анода до платы кинескопа У8.

При исправной антенне и на любом диапазоне экран светится, но нет изображения и звука. Проверяют осциллографом наличие постоянного напряжения на соответствующих печатных проводниках платы узла У2. При отсутствии на плате напряжения 160 В проверяют напряжение на выходе выпрямителя, откуда оно поступает на плату. Если отсутствие напряжения вызвано перегоранием предохранителя Пр5, то, выключив телевизор, проверяют пробником, нет ли замыканий в цепях, по которым оно должно поступать на контакт 53 узла 2. Устранив замыкания, проверяют работу телевизора.

Если при всех имеющихся напряжениях по-прежнему отсутствуют звук и изображение, то нужно проверить прохождение сигнала ПЧ в узле 2. Высокочастотный пробник с осциллографом присоединяют последовательно к аноду лампы VL3, затем к ее управляющей сетке, потом к коллектору транзистора VT2, базе транзистора VT1, аноду и управляющей сетке лампы VL2 и в заключение — к контрольной точке КТ4. Найдя таким образом место неисправности, устраняют дефект.

Если описанная проверка не дала результатов, в качестве источника сигнала используют ГИ. Соединив общую шину генератора с общей шиной узла 2 и гнездо ГИ «Выход» с контактом 42 на плате узла, т. е. подав сигнал ГИ на вход усилителя ПЧ изображения, увеличивают напряжение П-импульсов до наибольшего значения. Если при этом на экране появятся перемежающиеся горизонтальные черно-белые линии, то узел 2 можно считать работоспособным, а селектор каналов — неисправным.

Для проверки селектора его следует извлечь из телевизора, разобрать и осмотреть. Часто селектор выходит из строя из-за порчи резистора 1-R12, что можно заметить по его обгоревшему лакокрасочному покрытию.

Звук есть, экран не светится. Причиной может быть выход из строя лампы VL4 (узел 2), цепей регулятора яркости (проверяют пробником на отсутствие замыканий или обрывов), или генераторов развертки (узел 4). Лампу проверяют путем измерения напряжения на аноде пентода или замены лампы новой. Генераторы развертки проверяют следующим образом. Сначала определяют, имеется ли высокое напряжение (16 ... 18 кВ) на кинескопе. Проверку ведут с помощью заземленного отрезка изолированного провода с зачищенным концом. Здесь требуется определенная осторожность. Телевизор выключают, минут пять спустя снимают с вывода анода высокопотенциальный провод и размещают его в фиксированном положении на достаточно большом куске плотного картона или фанеры. Включают телевизор и, взяв одной рукой заземленный провод, медленно приближают его к контакту на высокопотенциальном проводе. Мощный искровой разряд при расстоянии 10 ... 15 мм покажет, что высокое напряжение для анода кинескопа имеется и причина отсутствия свечения экрана кроется в другом участке узла 4.

С помощью осциллографа проверяют генератор кадровой развертки. Вход осциллографа соединяют с анодом правого триода лампы VL7. Если на экране появится изображение пилообразного напряжения с амплитудой не менее 120 ... 150 В — задающий генератор исправен. Вход осциллографа подключают к управляющей сетке выходной лампы кадровой развертки VL8. Если пилообразное напряжение с той же амплитудой имеется и на сетке, то проверяют форму и амплитуду переменного напряжения на аноде лампы (пилообразное напряжение с амплитудой 700 ... 800 В). Если переменное напряжение на аноде лампы VL8 отсутствует или не превышает 100 ... 200 В, то причиной этого могут быть замыкания (как и обрывы) в деталях в анодной цепи лампы (выходной трансформатор, выпрямительный диод 5ГЕ40Ф, кадровые отклоняющие катушки). При неисправности каскада на лампе VL8 срабатывает устройство автоматического запирания луча кинескопа, что исключает прожог люминофора. Проверив детали, заменяют неисправную.

Если высокое напряжение на аноде кинескопа отсутствует, то измеряют напряжение на выводе 5 выходного трансформатора строчной развертки 6-Т4. Его значение должно быть в пределах 800 ... 1000 В. Пониженное да 240 ... 260 В

напряжение однозначно укажет на неисправность в генераторе строк. Ее причиной может быть выход из строя задающего генератора на лампе VL9. Соединив вход осциллографа с анодом правого триода, проверяют, имеется ли пилообразное напряжение с амплитудой 160 ... 180 В на аноде. Если имеется, то проверяют наличие пилообразного напряжения на управляющей сетке лампы VL10. Если оно есть и здесь, то выходной каскад (VL10) может не работать по причине замыканий в его анодной цепи (в выходном трансформаторе, строчных отклоняющих катушках). Возможен пробой конденсаторов, подключенных к трансформатору, как правило C6—C10. Если пилообразное напряжение не вырабатывается задающим генератором VL9, то каскад проверяют по описанному ранее способу. После устранения неисправности в каскаде генератор строчной развертки должен работать, появится изображение.

Перегорели сетевые предохранители. Для отыскания неисправности в этом случае отсоединяют поочередно провода от обозначенных на блоке питания выводов (А, Б, В и т. д.). На отсоединенный провод навешивают бирку с соответствующим обозначением, чтобы не перепутать отпаиваемые концы проводов. После каждой отпайки пробником проверяют выход выпрямителя на отсутствие короткого замыкания.

Глава 5
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Радиолюбителям, собравшим описанные в книге приборы и поработавшим с ними, рекомендуется пополнить свою лабораторию другими такими же несложными, но полезными устройствами.

Усилитель осциллографа рассчитан на усиление напряжения звуковых частот, т. е. частот примерно до 20 кГц. Это приемлемо при налаживании или экспериментах с усилителями и другими устройствами, работающими в диапазоне звуковых частот. Более высокочастотные сигналы им не усиливаются. Между тем часто возникает необходимость наблюдать форму сигналов значительно более высоких частот, например при налаживании радиоприемников и телевизоров. Конечно, сигналы в этом случае можно подавать непосредственно на вертикальные пластины ЭЛТ, минуя усилитель, который их не пропускает. Это возможно, если амплитуда сигналов составляет не менее 5 ... 10 В. В большинстве случаев эти сигналы, прежде чем подать на пластины, необходимо усилить. Для этого нужен усилитель с достаточно широкой полосой пропускания.

Однако нужно учитывать, что расширение полосы частот усилителя приводит к тем большему его усложнению, чем шире полоса. Исходя из этого в нашем случае ограничимся полосой пропускания от 20 ... 30 Гц до 2,5 ... 3 МГц.

Схема *простого однокаскадного лампового усилителя* с такой полосой пропускания приведена на рис. 47. Конструктивно его выполняют в виде небольшой приставки, присоединяемой к соответствующим гнездам осциллографа, обеспечивающего усилитель необходимыми питающими напряжениями. Его коэффициент усиления, измеренный на частоте 1 МГц, составляет около 30. Амплитудная характеристика линейна в пределах входного сигнала от нуля до 0,75 В (при частоте 1 МГц). Входное сопротивление и входная емкость составляют соответственно примерно 400 кОм и 30 пФ.

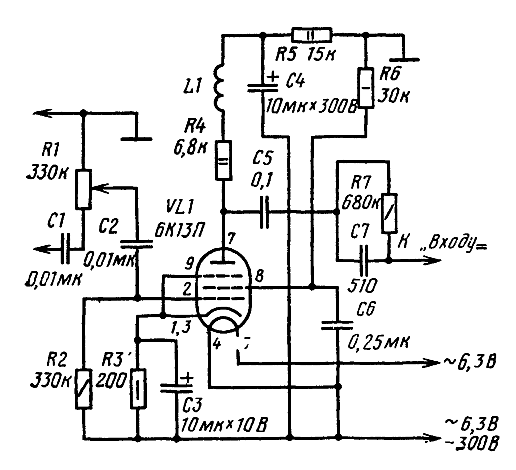


Рис. 47. Принципиальная схема широкополосного усилителя

Усилитель собран по простейшей схеме, в нем не предусмотрена коррекция во входных цепях (как и в осциллографе). Поэтому при регулировке усиления резистором R1 форма частотной характеристики будет изменяться, однако в практике радиолюбителя это изменение не скажется существенным образом. Сигнал со входа поступает через разделительный конденсатор C1 на регулятор усиления R1, с движка которого через второй разделительный конденсатор C2 подается на управляющую сетку пентода VL1. Поскольку нижняя граница частотной характеристики усилителя должна быть не выше 20...30 Гц, конденсаторы C1 и C2 имеют сравнительно большие емкости.

Конденсатор C2 установлен для того, чтобы не допустить попадания на управляющую сетку лампы положительного потенциала из анодно-экранной цепи, с которой соединен резистор R1. Конденсатор C1 включен, чтобы пропустить на указанный резистор только сигнал переменного тока. В противном случае при подключении усилителя или, что одно и то же, резистора R1 непосредственно к источнику сигнала, у усилителя может изменяться режим по постоянному току (например, напряжение на электродах) и исказиться форма выходного сигнала. Резистор R2 используют в качестве сопротивления утечки сетки, R6 — как гасящий резистор в цепи экранной сетки. Конденсаторы C3, C6 — блокирующие. В цепи анода включена нагрузка в виде резистора R4 и корректирующей катушки L1, обеспечивающей расширение частотной характеристики усилителя до 2,5...3 МГц. С анода усиленный сигнал через разделительный конденсатор C5 и корректирующую цепь R7, C7, также включенную для высокочастотной коррекции, подается к гнезду X2 осциллографа. Необходимые питающие напряжения на усилитель поступают с соответствующих гнезд осциллографа. Для предотвращения самовозбуждения усилителя напряжение на анодную цепь подается через развязывающий резистор R5. Конденсатор C4 — блокирующий. Элементы R5, C4 образуют и корректирующую цепь, обеспечивающую необходимый подъем частотной характеристики усилителя в низкочастотной области. Если переключатель SA1 осциллографа установлен в положение «Пластины», то напряжение с выхода усилителя-приставки поступает непосредственно на вертикальные пластины ЭЛТ и на экране можно будет увидеть осциллограмму высокочастотного сигнала. Наивысшая частота развертки у осциллографа около 30 кГц. Зная ее, можно определить наивысшую частоту сигнала, умножив поддающееся подсчету число периодов сигнала на частоту развертки. Допустим, на экране можно отсчитать 25 четко различных периодов сигнала, следовательно, его частота составляет 25×30=700 кГц. При более высокой частоте, вплоть до 2,5...3 МГц, отдельные периоды станут неразличимыми для глаза и на экране появится горизонтальная

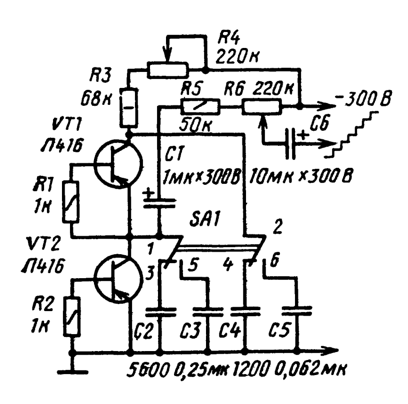


Рис. 48. Принципиальная схема генератора ступенчатого напряжения

около 15 000 Гц. Меньшее число градаций яркости на экране при восьми ступенях будет говорить о том, что режим работы видеоусилителя установлен неверно. Полосы будут неподвижны, если частоты кадровой или строчной развертки совпадают с частотой ступенчатого напряжения, и исправно устройство синхронизации. Чтобы обеспечить это, необходимо подстроить регуляторы частоты кадров или строк. Тот же результат получается при изменении частоты повторения ступенчатого напряжения.

Принципиальная схема генератора *ступенчатого напряжения* показана на рис. 48. Принцип работы генератора заключается в следующем. После включения напряжения питания конденсатор C4 начинает заряжаться через резисторы R3 и R4. При этом транзисторы VT1 и VT2 закрыты и на коллекторе транзистора VT2 напряжения практически нет.

Транзистор VT1 открывается, когда напряжение на конденсаторе C4 (т. е. на коллекторе транзистора VT1) достигает примерно 20 В. В этот момент конденсатор C4 разрядится через промежуток эмиттер — коллектор транзистора VT1, через транзистор пройдет ток и потенциал коллектора транзистора VT2 увеличится на какое-то значение. Напряжение на конденсаторе C2 возрастет почти мгновенно, после чего транзистор VT1 вновь окажется закрытым, а конденсатор C4 начнет заряжаться через резисторы R3 и R4. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока транзистор VT1 не откроется. При этом конденсатор C4 снова разрядится через транзистор VT1, а напряжение на коллекторе VT2 и конденсаторе C2 вновь возрастет. Транзистор VT2 находится в закрытом состоянии до тех пор, пока напряжение на конденсаторе C2, ступенчато возрастая, не достигнет значения, при котором откроется транзистор VT2. При этом конденсатор C2 разрядится через транзистор VT2 и устройство вернется в исходное состояние. Таким образом, на конденсаторе C2 периодически появляется напряжение ступенчатой формы. Частота повторения этого напряжения зависит от номиналов конденсатора C4 (C5) и резисторов R3 и R4, а число ступеней — от соотношения между емкостями конденсаторов C2 и C4 (C3 и C5).

Генератор вырабатывает напряжение ступенчатой формы с частотой повторения около 15 кГц, а при замкнутых контактах переключателя SA1 с частотой 50 Гц. Эти частоты можно в некоторых пределах изменять с помощью резистора R4. Амплитуду выходного напряжения можно регулировать резистором R6. Резистор R5 необходим для получения выходного напряжения, не превышающего 2,5 ... 3 В, и совместно с резистором R6 является сопротивлением нагрузки генератора. С уменьшением этого сопротивления ухудшается линейность ступенчатого напряжения. Для питания генератора используют напряжение —300 В (гнездо X11) от осциллографа. В генераторе можно использовать только диффузионные транзисторы П401—П403, П415, П416 и т. д. Специально отбирать транзисторы не надо. Генератор собирают на плате из кар-

полоса, ширина которой (вертикальный размер) будет равна напряжению размаха высокочастотного сигнала.

В положении переключателя SA1 «Усилитель» сигнал с выхода усилителя-приставки поступит на вход усилителя в осциллографе. В этом случае полоса частот сократится и станет равной полосе частот усилителя осциллографа. Однако общий коэффициент усиления при этом возрастает приблизительно в 30 раз, что позволит рассматривать на экране сигналы звуковых частот с уровнем в тысячные доли вольта. В усилителе-приставке используют обычные детали. Катушка L1 намотана внавал на резисторе МЛТ 0,5 (сопротивлением не менее 50 кОм) между его выступающими частями и содержит 120 витков провода ПЭВ-0,12. Усилитель монтируют на плате из изоляционного материала (прессшпан, фанера) без каких-либо особенностей и помещают в подходящий корпус. Экранировка усилителя не рекомендуется, так как при этом повысятся входная и выходная емкости каскада. Высокочастотные кабели, соединяющие выход усилителя-приставки с осциллографом и ее вход с исследуемым участком налаживаемого радиоустройства, должны обладать наименьшей емкостью. Поэтому их изготавляют следующим образом. На отрезок провода диаметром 0,15 ... 0,2 в любой изоляции надевают изолирующую (например полихлорвиниловую) трубку. Концы провода зачищают и залуживают. Один из концов припаивают к вилке штекера. Изолирующую трубку при этом вставляют в штекер и закрепляют в таком положении с помощью нитроцеллюлозного клея. Точно так же припаивают другой конец провода к вилке второго штекера. Следует учитывать, что при измерениях на частотах, превышающих 300 ... 500 кГц, подключение соединительных проводов привносит дополнительную емкость в схему.

Проверку усилителя-приставки ведут в следующем порядке. Подключив его к осциллографу, устанавливают переключатель SA1 в положение «Усилитель» и проверяют, регулируя усиление регуляторами как приставки, так и осциллографа, как проявляется это на экране. Поскольку общее усиление должно резко возрасти, то чувствительность к электрическим наводкам усилителя также повысится. При замыкании на массу входного кабеля усилителя-приставки линия развертки на экране должна оставаться практически неподвижной, что свидетельствует о нормальной работе усилителей в комплексе друг с другом.

Другим устройством, использование которого может помочь радиолюбителю при работе с телевизором, является генератор ступенчатого напряжения. С его помощью можно упростить налаживание устройств развертки и проверку режима работы видеоусилителя. Если напряжение от такого генератора подвести к видеоусилителю, то при определенных частотах ступенчатого напряжения на экране появятся полосы убывающей или возрастающей яркости. По распределению полос можно судить о линейности развертки, а по их числу, характеризующему градации яркости, — о режиме работы видеоусилителя.

Чтобы оценить линейность растра по вертикали и создать на экране восемь полос, необходимо напряжение ступенчатой формы с восемью ступенями и с частотой повторения около 50 Гц. При этом, если режим работы видеоусилителя нормальный, на экране появятся восемь горизонтальных полос различной яркости. Чтобы получить на экране вертикальные полосы с тем же числом градаций, необходимо ступенчатое напряжение с частотой повторения

тона, прикрепляемой к панели (как ГЗЧ, ГВЧ и т. д.) и устанавливают в любом подходящем корпусе.

Работа с генератором сводится к следующему. К управляющей сетке лампы видеоусилителя или ко входу транзисторного видеоусилителя подводят напряжение с движка резистора R6. Регулируя его, добиваются появления на экране телевизора движущихся полос. Далее подстраивают частоту строк или кадров до тех пор, пока полосы не примут вертикального или горизонтального положения. С помощью резистора R4 можно изменять число полос на экране.

Сравнивая ширину полос на противоположных сторонах экрана, оценивают линейность разверток, а изменяя режим работы видеоусилителя, проверяют, какое число градаций яркости обеспечивает видеоусилитель. Генератор потребляет ток 3 мА.

Глава 6

СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ

В практике начинающего радиолюбителя, занимающегося разработкой «своих» устройств, конструированием радиоэлектронной аппаратуры, часто возникает необходимость в различного рода расчетах. Здесь приводятся краткие сведения справочного характера, которые можно использовать при расчетах.

Единицы электрических измерений. В практической радиотехнике наибольшее применение имеют следующие основные единицы измерений: напряжения — вольт, силы тока — ампер, мощности — ватт, сопротивления — ом, емкости — фарада, индуктивности — генри, частоты — герц. Некоторые из этих единиц могут оказаться слишком большими. Например, одна фарада в десятки тысяч раз превышает емкость самого большого по емкости конденсатора, применяемого в радиоустройствах. Ясно, что обозначением номиналов деталей в фарадах нецелесообразно, поскольку оно окажется чрезмерно громоздким. Столь большая единица неудобна и при расчетах, поэтому чаще всего емкость измеряют в единицах в 10^6 и 10^{12} раз меньше одной фарады. Вместо единицы силы тока — ампера — очень часто также употребляют ее тысячные, а иногда миллионные доли. С другой стороны, имеются основные единицы, слишком небольшие для непосредственного использования, например единица сопротивления ом, в то время как в бытовой радиоэлектронной аппаратуре большинство используемых резисторов имеют сопротивление в сотни, тысячи, миллионы раз больше одного ома. Поэтому на практике используют как основные, так и производные единицы.

Напряжение: 1 вольт (В) $= 10^3$ милливольт (мВ) $= 10^6$ микровольт (мкВ) $= 10^{-3}$ киловольт (кВ):

1 мВ $= 10^{-3}$ В $= 10^3$ мкВ;

1 мкв $= 10^{-6}$ В $= 10^{-3}$ мВ;

1 кВ $= 10^3$ В.

Сила тока: 1 ампер (А) $= 10^3$ миллиампер (мА) $= 10^6$ микроампер (мкА);

1 мА $= 10^{-3}$ А $= 10^3$ мкА;

1 мкА $= 10^{-6}$ А $= 10^{-3}$ мА.

Мощность: 1 ватт (Вт) $=10^3$ милливатт (мВт) $=10^6$ микроватт (мкВт);
1 мВт $=10^{-3}$ Вт $=10^3$ мкВт;
1 мкВт $=10^{-6}$ Вт $=10^{-3}$ мВт.

Сопротивление: 1 Ом (Ом) $=10^{-3}$ килоом (кОм) $=10^{-6}$ мегаом (мОм);
1 кОм $=10^3$ Ом $=10^{-3}$ мОм.
1 мОм $=10^3$ кОм $=10^6$ Ом.

Емкость: 1 фарада (Ф) $=10^6$ микрофарад (мкФ) $=10^{12}$ пикофарад (пФ);
1 мкФ $=10^6$ пФ $=10^{-6}$ Ф;
1 пФ $=10^{-12}$ Ф $=10^{-6}$ мкФ.

Индуктивность: 1 генри (Гн) $=10^3$ миллигенри (мГн) $=10^6$ микрогенри (мкГн);
1 мГн $=10^{-3}$ Гн $=10^3$ мкГн;
1 мкГн $=10^{-6}$ Гн $=10^{-3}$ мГн.

Частота: 1 герц (Гц) $=10^{-3}$ килогерц (кГн) $=10^{-6}$ мегагерц (МГц) $=10^{-9}$ гигагерц (ГГц);
1 кГц $=10^3$ Гц $=10^{-3}$ МГц $=10^{-6}$ ГГц;
1 МГц $=10^6$ Гц $=10^3$ кГц $=10^{-3}$ ГГц;
1 ГГц $=10^6$ кГц. $=10^9$ Гц.

На принципиальных схемах бытовой радиоаппаратуры в целях упрощения приняты следующие обозначения:

для резисторов от 0 до 999 Ом — без указания единицы измерения (например, 750 вместо 750 Ом);

от 1000 до 999999 Ом — в килоомах с одной буквой К (вместо 120 000 Ом — 120 К);

от 1 000 000 до 999 000 000 — в мегаомах с одной буквой М (вместо 1 000 000 Ом — 1 М);

для конденсаторов от 0 до 9999 пФ — в пикофарадах без указания единицы (вместо 510 пФ — 510);

от 0,01 до 9999 мкФ — в микрофарадах с буквами мк (вместо 5 мкФ — 55 мк, вместо 0,01 мкФ — 0,01 мк).

Частота, длина волны. У радиолюбителя может возникнуть необходимость в определении частоты f сигнала по известной длине волны λ или наоборот. Зависимость между этими величинами связана формулой

$$\lambda=300\,000/f \text{ или } f=300\,000/\lambda,$$

где длина волны λ указывается в метрах, а частота f — в килогерцах.

Закон Ома. С помощью закона Ома, выражающегося формулами

$$I=U/R,\ U=IR,\ R=U/I,$$

где I — сила тока (А), U — напряжение (В) и R — сопротивление, имеющееся в цепи (Ом), определяют различные электрические величины в радиоустройствах.

Пример 1. Имеются источник напряжения постоянного тока 100 В и усилитель, для которого напряжение питания не должно превышать 70 В. Ток, потребляемый усилителем, 0,1 А. Требуется определить сопротивление гасящего резистора, который нужно установить между источником и усилителем для обеспечения усилителя требуемым напряжением. Чтобы погасить излишек напряжения 30 В, необходим резистор $R=30/0{,}1=300$ Ом.

Пример 2. В цепи эмиттера транзистора второго каскада усилителя мощности звуковой частоты установлен резистор сопротивлением 1000 Ом. Падение напряжения на резисторе, судя по принципиальной схеме, должно составлять 1,5 В. Однако проведенная из-за искажений звука проверка усилителя показала, что напряжение на упомянутом резисторе повышено до 7 В. На основе имеющихся данных подсчитан ток эмиттера: $I=7\cdot1000/1000=7$ мА, оказавшийся чрезмерным и свидетельствующий о возможном выходе из строя данного транзистора. В последней формуле выражение в числителе умножается на 1000, чтобы получить результат в миллиамперах.

Электрическая мощность: $P=IU=I^2R=U^2/R$ (ватты, амперы, вольты). В примере 1 найдено значение гасящего резистора. Необходимо определить выделяемую на нем мощность: $P=I^2R=1\cdot10^{-2}\cdot3\cdot10^2=3$ Вт. Следовательно, резистор должен быть рассчитан на мощность не менее 3 Вт.

Пример 3. Динамические головки имеют паспортное значение номинальной мощности 10 В. Чтобы оценить возможность их использования в собираемом усилителе, нужно определить напряжение звуковой частоты, подводимое к его звуковой катушке сопротивлением 10 Ом для получения номинальной мощности. При указанных данных напряжение должно быть $U=\sqrt{PR}=10$ В.

Закон Ома справедлив и для цепей переменного тока, содержащих резисторы, конденсаторы, катушки. Однако если сопротивление резистора практически не зависит от частоты проходящего через него тока, то, как известно, сопротивление конденсатора или катушки индуктивности в значительной степени зависит от частоты тока. Для определения емкостного сопротивления конденсатора X_C и индуктивного сопротивления катушки X_L при частоте f используют следующие формулы:

$$X_C=1{,}6\cdot10^5/(fC) \quad \text{(Ом, Гц, мкФ)}$$

или

$$X_C=1{,}6\cdot10^{11}/(fC) \quad \text{(Ом, Гц, пФ)}$$

и

$$X=6{,}3fL \quad \text{(Ом, Гц, Гн).}$$

Пример 4. В примере 1 определялось сопротивление гасящего резистора, включаемого в цепь питания усилителя с целью снижения его напряжения питания. На резисторе с сопротивлением 300 Ом происходит падение напряжения постоянного тока (для того он и включен). Между точкой присоединения резистора к усилителю и массой должен быть включен блокирующий конденсатор, иначе на резисторе кроме падения напряжения постоянного тока произойдет падение напряжения звуковой частоты. Это приведет к нестабильной работе усилителя, снижению уровня сигнала на его выходе и т. п. Блокирующий конденсатор должен иметь малое сопротивление на наинизшей частоте полосы пропускания усилителя. Допустим, что нижняя граница частотной характеристики усилителя находится вблизи частоты 50 Гц, а сопротивление конденсатора на этой частоте примем равным 10 Ом. Подсчитаем емкость конденсатора:

$$C=1{,}6\cdot10^5/(50\cdot10)\approx340 \text{ мкФ.}$$

Полученное значение не отличается от емкости конденсаторов, используемых в подобных случаях. Нетрудно увидеть, что для обеспечения емкостного

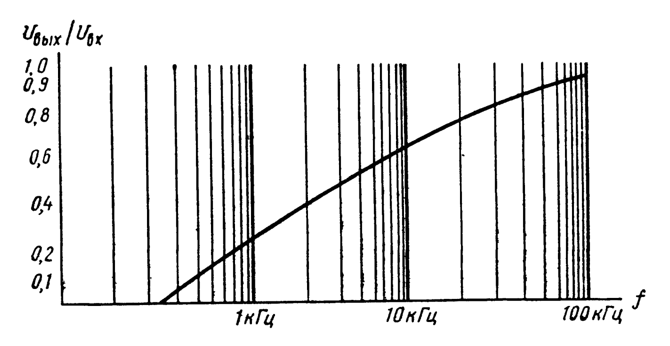


Рис. 49. Характеристика CR-фильтра

сопротивления 1 Ом потребовалась бы емкость 3400 мкФ. Подобные конденсаторы с рабочим напряжением 100 В достаточно дороги и громоздки.

Пример 5. Определим частотную характеристику цепи (рис. 7,*а*), представляющей собой фильтр верхних частот при $U_{вх}=10$ В, $R=10$ кОм, и $C=0{,}005$ мкФ. Будем считать, что в указанном сопротивлении учтено и входное сопротивление последующей цепи. Из частотной характеристики фильтра должно быть определено, как изменяется напряжение на выходе цепи ($U_{вых}$) при увеличении частоты и при неизменных значениях напряжения на входе $U_{вх}$, сопротивления R и емкости конденсатора C.

Нижняя граница частотной характеристики начинается с частоты среза f_0, для которой зададимся $U_{вых}=0{,}1U_{вх}$. Последнее условие может быть соблюдено, если $R\approx 0{,}1X_C$, отсюда $X_C\approx 10R$, т. е. $X_C\approx 100$ кОм. Подсчитаем частоту среза:

$$f_0=1{,}6\cdot 10^5/(X_C\cdot C)=(1{,}6\cdot 10^5)/(10^5\cdot 0{,}005)\approx 300 \text{ Гц}.$$

Далее подсчитаем частоты при $U_{вых}/U_{вх}=0{,}2$ 0,5 и 0,9. Этим отношениям будут соответствовать значения $X_C\approx 40$, 10, 1 кОм, отсюда частоты $f_{02}\approx\approx 800$ Гц, $f_{05}\approx 3000$ Гц и $f_{09}\approx 3$ МГц. По результатам расчета строят график (рис. 49), из которого можно заключить, что фильтр верхних частот (цепь RC на рис. 7,*а*), пропуская частоты выше f_0, достаточно эффективно подавляет более низкие частоты.

Пример 6. Динамические головки с сопротивлением звуковой катушки 10 Ом соединяют с выходом двухтактного мощного транзисторного усилителя. Его напряжение питания 12 В. Необходимо определить емкость разделительного конденсатора. Нижняя граница полосы воспроизводимых частот 50 Гц. Поскольку конденсатор включается последовательно с катушкой динамической головки, то для исключения заметных потерь сигнала на емкостном сопротивлении конденсатора и связанного с этим уменьшения мощности звука должно быть соблюдено неравенство $X_C\leqslant 0{,}1R_н$, где $R_н$ сопротивление звуковой катушки. Емкость конденсатора будет

$$C=1{,}6\cdot 10^5/(50\cdot 1)\approx 3400 \text{ мк}.$$

Рабочее напряжение конденсатора должно быть не менее 15 В.

Параллельное и последовательное соединение резисторов, катушек индук-

тивности, конденсаторов. При параллельном соединении резисторов, катушек индуктивности, конденсаторов результирующее значение (R, L или C) подсчитывают по формулам (в одинаковых единицах)

$$1/R=1/R_1+1/R_2+1/R_3+\dots;$$

$$1/L=1/L_1+1/L_2+1/L_3+\dots;$$

$$C=C_1+C_2+C_3.$$

При параллельном соединении двух элементов результирующее значение будет

$$R=R_1R_2/(R_1+R_2);$$

$$L=L_1L_2/(L_1+L_2);$$

$$C=C_1+C_2.$$

В этом случае сопротивление R или индуктивность L будут иметь меньшее значение, чем у наименьшего из пары.

При последовательном соединении элементов результирующее значение подсчитывают по формулам

$$R=R_1+R_2+R_3+\dots;$$

$$L=L_1+L_2+L_3+\dots;$$

$1/C=1/C_1+1/C_2+1/C_3$ или для двух конденсаторов $C=C_1C_2/C_1+C_2$. В последнем случае результирующая емкость будет меньше наименьшей из соединенных последовательно.

Расчет трансформатора блока питания. Приведен упрощенный расчет трансформатора блока питания любительских радиоэлектронных устройств с потребляемой мощностью до 100 ... 150 Вт.

Полная мощность трансформатора

$$P=K(UI+U_л I_л)\ Вт,$$

где K — коэффициент, учитывающий потери при выпрямлении переменного тока и в сердечнике трансформатора; U — напряжение постоянного тока на выходе выпрямителя (В); I — сила выпрямленного тока (А); $U_л$, $I_л$ — напряжение и ток накала (В, А), потребляемый радиолампами (для лампового устройства).

Сечение сердечника (кв. см): $S=\sqrt{P}$.

Число витков для получения 1 В при данном сечении сердечника: $H=50/S$.

Число витков обмотки с напряжением U: $h=HU$.

Диаметр провода (мм обмотки, по которой протекает ток I(A): $d=0{,}8\sqrt{I}$.

Пример 7. Для усилителя, потребляющего при напряжении U=24 В (в мостовой схеме выпрямителя) ток 1 А, необходим трансформатор питания. Сетевое напряжение 220 В.

Определяем полную мощность трансформатора (примем K=1,3):

$$P=1{,}3\cdot 24\cdot 1\approx 35\ Вт;$$

сечение сердечника $S=\sqrt{35}\approx 6$ кв. см;

число витков на вольт $H=50/6\approx 8$;

число витков сетевой обмотки $h_c = 8 \cdot 220 = 1760$;

ток в сетевой обмотке $I_c = P/U_c \approx 0{,}2$ А;

диаметр провода сетевой обмотки $d = 0{,}8\sqrt{I_c} = 0{,}36$ мм;

число витков вторичной обмотки $h = 8 \cdot 24 = 192$;

диаметр провода $d = \sqrt{I} = 0{,}8$ мм.

Определив намоточные данные, необходимо подобрать тип сердечника с соответствующими размерами окна, позволяющими разместить в нем обмотки с изолирующими прокладками. Для этого нужно подсчитать плотность каждой обмотки, т. е. число витков, приходящееся на 1 кв. см намотки виток к витку с учетом прокладок, и сопоставить ее с площадью окна.

Оглавление

Список литературы

1. **Борисов В. Г.** Юный радиолюбитель. — М.: Радио и связь, 1986.
2. **Изюмов Н. М., Линде Д. П.** Основы радиотехники. — М.: Радио и связь, 1983.
3. **Баркан В. Ф., Жданов В. К.** Радиоприемные устройства. — М.: Сов. радио, 1978.
4. **Белов И. Ф., Белов В. И.** Бытовая приемно-усилительная аппаратура: Справочник. — М.: Радио и связь, 1985.
5. **Самойлов Г. П., Скотин В. А.** Телевизоры и их ремонт. — М.: Радио и связь, 1984.

65 коп.



Радио-
любительские
приборы
и измерения

Издательство «Радио и связь»